Aus dem
Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. H. Drexel

„Wirkungen kühler, indifferenter und warmer Bäder mit und ohne Luftsprudelzusatz auf Körpertemperatur, Kreislauf-, Herz- und Atemfunktion, Plasmacortisol und weitere physiologische Parameter."

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
WERNER HEIL
aus München
1981

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547022_0070

Aus dem
Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität München
Vorstand: Prof. Dr. med. H. Drexel

" WIRKUNGEN KÜHLER, INDIFFERENTER UND WARMER BÄDER MIT UND OHNE LUFTSPRUDELZUSATZ AUF KÖRPERTEMPERATUR, KREISLAUF-, HERZ- UND ATEMFUNKTION, PLASMACORTISOL UND WEITERE PHYSIOLOGISCHE PARAMETER ."

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
WERNER HEIL
aus München

1 9 8 1

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. H. Drexel

Mitberichterstatter:

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 10.3.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	Einleitung	1
1.1	Problemstellung und Aufgabenstellung	2
1.2	Literaturübersicht	5
2.	Material und Methoden (Abb. 1)	
2.1	Versuchsbedingungen	12
2.2	Luftsprudelgerät	12
2.3	Kreislaufparameter	
2.3.1	Durchblutung	14
2.3.2	Pulsfrequenz	14
2.3.3	Blutdruck	14
2.3.4	Schellong-Test	15
2.4	Respiratorische Parameter	
2.4.1	Atemminutenvolumen (AMV)	15
2.4.2	Atemfrequenz (AF)	15
2.4.3	Atemzugvolumen (AZV)	15
2.5	Hämatologische Parameter	
2.5.1	Serumcortisol	16
2.5.2	Sonstige	16
2.6	Physikalische Parameter	
2.6.1	Rektaltemperatur	16
2.6.2	Intrarektale Druckmessung (Abb. 2)	17

Seite

2.7 Versuchsablauf 19

2.8 Statistische Auswertung 20

3. Ergebnisse

3.1 Rektaltemperatur, Aufheizzeit (Abb. 3 u.4) 21

3.2 Pulsfrequenz (Abb. 5) 25

3.3 Durchblutung (Abb. 6) 27

3.4 Blutdruck (Abb. 7) 29

3.5 Blutdruckamplitude (Abb. 8) 32

3.6 Amplitudenfrequenzprodukt (Abb. 9) 34

3.7 Schellong-Test (Abb. 10) 37

3.8 Atemminutenvolumen (Abb. 11) 39

3.9 Atemfrequenz (Abb 12) 41

3.10 Atemzugvolumen (Abb. 13) 44

3.11 Intrarektale Druckschwankungen (Abb. 14) 46

3.12 Plasmacortisol (Abb. 15) 49

3.13 Sonstige hämatologische Parameter 50

3.14 Untersuchungsergebnisse mit Badezusätzen (ABb. 16) 51

3.15 Trocken-Kontrollversuche (Abb. 17) im Vergleich zu den 36°-warmen (indifferenten)Bädern 53

4. Diskussion

4.1 Diskussion einiger Parametergruppen

4.1.1 Kerntemperatur 57

4.1.2 Durchblutung der unteren Extremität 60

4.1.3 Blutdruck, Blutdruckamplitude 62

4.1.4 Schellong-Test 66

4.1.5 Pulsfrequenz 67

Seite

4.1.6 Amplitudenfrequenzprodukt 71

4.1.7 Respiratorische GRößen (AMV, AF, AZV) 73

4.1.8 Plasmacortisol 76

4.2 Gesamtbetrachtung 81

4.3 Indikationen 85

4.4 Gegenanzeigen, Gefahren 87

5. Zusammenfassung 88

6. Literatur 94

7. Lebenslauf

Abbildungen:

Abb. 1: Badeversuch 12

Abb. 2: Versuchsanordnung zur Messung intrarektaler Druckschwankungen. 18

Verlaufskurven:

Abb. 3: Rektaltemperatur 22

Abb. 4: Rektaltemperatur (Doppelversuch) zur Bestimmung der Aufheizzeit 23

Abb. 5: Pulsfrequenz 26

Abb. 6: Durchblutung 28

Abb. 7: Blutdruck 30

Seite

Abb. 8: Blutdruckamplitude 33

Abb. 9: Amplitudenfrequenzprodukt 35

Abb. 10: Schellong-Test 38

Abb. 11: Atemminutenvolumen 40

Abb. 12: Atemfrequenz 42

Abb. 13: Atemzugvolumen 45

Abb. 14: Intrarektale Druckschwankungen 46

Abb. 15: Plasmacortisolwerte 49

Abb. 16: Untersuchungsergebnisse mit Bädezusätzen 52

Abb. 17: Trocken-Kontrollversuche 54

Abb. 18: Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der Körpertemperatur 68

1. EINLEITUNG

Das Luftsprudelbad gehört zu einer Reihe physikalischer Applikationsformen, deren Wert für die Anwendung bei Gesunden (Prophylaxe) und Kranken (Therapie) umstritten ist. Es ist sowohl für den Arzt, als auch für den Naturwissenschaftler schwer einsehbar, warum ein von Luft durchströmtes Bademedium irgendeine relevante zusätzliche Wirkung auf den Badenden ausüben soll. Es liegen aber seit Beginn dieses Jahrhunderts eine Reihe positiver Erfolgsberichte von medizinischer Seite vor, die letztlich dazu geführt haben, daß mittels moderner Technologie das Luftsprudelbad heute eine weite Verbreitung gefunden hat.

Im Gegensatz zu dieser Verbreitung steht der Mangel an gesichertem Basiswissen zur Wirkung des Luftsprudelbades.

Diese Untersuchung soll zeigen, ob und welche physiologische und physikalische Parameter Änderungen im Luftsprudelbad gegenüber dem gleichtemperierten Süßwasser-Vollbad erfahren. Sie soll als Grundlage für klinische Untersuchungen dienen und zum Verständnis möglicher medizinischer Wirkungen beitragen.

1.1 PROBLEMSTELLUNG UND AUFGABENSTELLUNG

Als SENATOR und SCHNÜTGEN (1909) das Luftperlbad in die physikalische Therapie einführten, war es zunächst als Ersatz für die damals ungeklärte Wirkung des Kohlensäurebades gedacht.

Jahrzehntelang führte es in Sanatorien und physikalisch-therapeutischen Abteilungen ein rechtes Schattendasein. Publiziert wurden bisher nur einige positive Erfolgsberichte und theoretische Erörterungen des Wirkungsmechanismus. Systematische Untersuchungen sind praktisch nicht bekannt geworden.

Diese Situation hat sich gewandelt: seit Jahren vertreiben einige Hersteller technisch ausgereifte, leistungsfähige Geräte, welche vor allem auf dem privaten Sektor großen Absatz finden. Von den Herstellern wird eine Reihe von Indikationen angegeben: Rheuma, Ischias, Bandscheibenschäden, Rückenschmerzen, Virusinfekte, Erschöpfungszustände, Ermüdung, Muskelkater, Appetitlosigkeit, Schlafstörungen, Hypertonie, Hypotonie, Bronchitis, Asthma, Durchblutungsstörungen, Obstipation, pectanginöse Beschwerden und Migräne. Der Stoffwechsel soll aktiviert, die Haut gestrafft, das Bindegewebe massiert und entschlakt werden. Für praktisch alle diese Werbebehauptungen finden sich, nebenbei bemerkt, entsprechende Zitate in der zumeist veralteten Fachliteratur sowie Kleingutachten von Ärzten.

Von medizinischer Seite sowie von den öffentlichen Medien sind derartige Wirkungsbehauptungen verständlicherweise kritisch aufgenommen worden. So hieß es in der Fernsehsendung ARD - RATGEBER TECHNIK vom 9.11.75 u.a.: "Über eine Pumpe wird Luft durch kleine Löcher in der Matte ins Wasser geblasen. Das ist alles. Viele der im Prospekt versprochenen medizinischen Wirkungen werden schon allein durch ein warmes Bad erreicht, oder sie stimmen nicht." Doch auch dieser Gegenstimme lag lediglich eine persönliche Meinung, nicht jedoch eine wissenschaftliche Untersuchung mit negativem Ergebnis zugrunde.

Hinzu kommt, daß es sich bei einigen Werbebehauptungen nicht um medizinische Indikationen im gesetzlichen Sinne handelt (Beispiele: Ermüdung, Muskelkater u.a.).

Es liegt auf der Hand, daß die obengenannten Indikationen nur in kontrollierten klinischen Studien zu verifizieren sind. Dies konnte und sollte nicht Absicht dieser Studie sein.

Es sollte vielmehr untersucht werden, ob das LSB durch seine physikalischen Eigenschaften gegenüber dem gleichtemperierten Vollbad zusätzliche oder veränderte physiologische Reizantworten des Organismus hervorrufen kann. Hierdurch gewinnt ja eine positive Wirkung im klinischen Sinne, d.h. auf Krankheiten und Wohlbefinden, erst an Wahrscheinlichkeit.

Meine Aufgabe bestand darin, gesunden Versuchspersonen Vollbäder mit und ohne Luftsprudel zu verabreichen, eine Reihe physiologischer, physikalischer und humoraler Parameter zu erfassen und so auszuwerten, daß sie Aussagen zu vorgenanntem Problem ermöglichen.

1.2 LITERATURÜBERSICHT

Das Luftsprudelbad verdankt seine Einführung in die physikalische Therapie der Diskussion über die Wirkungsweise des Kohlesäurebades. Im Gegensatz zu Autoren, die in der Hautrötung, dem eigentümlichen Wärmegefühl und in den Kreislaufreaktionen des Kohlensäurebades einen chemischen Reizeffekt sahen, glaubten SENATOR und FRANKENHÄUSER (1904), daß diese Wirkungen wohl durch physikalische, und zwar durch thermische Reize zustande kämen: Wegen der unterschiedlichen Wärmekapazität von Kohlensäure und Wasser "übt bei einer Badetemperatur von 31 - 33°C das unter dem Indifferenzpunkt temperierte Wasser einen Kältereiz und das über ihrem Indifferenzpunkt temperierte CO_2-Gas einen Wärmereiz aus. Sobald also das kurz dauernde Kältegefühl beim Einsteigen in das kühle Wasser überwunden ist und die CO_2-Bläschen an der Haut zu haften beginnen, entsteht an diesen Haftstellen ein Wärmereiz und daneben an den Hautstellen zwischen den Bläschen durch das Wasser der Kältereiz, ..., so findet an den einzelnen Hautstellen ein Wechsel zwischen Kälte- und Wärmereiz statt."(SENATOR u. FRANKENHÄUSER 1904)

Für Luftperlbäder fordern SENATOR u. FRANKENHÄUSER eine ähnliche "thermische Kontrastwirkung". Wohl um diese Theorie zu beweisen, konstruierten SENATOR u. SCHNÜTGEN (1909) ein Luftperlgerät, indem sie mit einem Gebläse Luft in ein Gestell aus durchlöcherten Bambusstäben

bliesen, und führten damit vergleichende Untersuchungen mit Kohlensäurebädern im Temperaturbereich von 32°C durch. Dabei fanden die Autoren die Blutdruckamplitude, die Pulsfrequenz und das Produkt aus beiden erniedrigt und - im Gegensatz zum Kohlensäurebad - auch eine beruhigende Wirkung auf das Nervensystem. Des weiteren konnten sie auch keine Hautrötung und kein so starkes Wärmegefühl beobachten. Für die unterschiedliche Wirkung von Luftperl- und Kohlensäurebädern führten die Autoren die unterschiedliche Bläschengröße an, die bei den Kohlensäurebädern größer seien und länger an der Haut haften als bei den Luftsprudelbädern.
In der klinischen Anwendung sahen sie gute Erfolge bei nervöser Erregung, nervösem Herzklopfen, Tachykardien, Schlaflosigkeit und eine besonders deutliche Abnahme hoher Blutdruckwerte bei Arteriosklerotikern. Subjektiv löse das Luftperlbad ein allgemeines Wohlbehagen aus, und führe zur Stärkung und Beruhigung (SENATOR u. SCHNÜTGEN 1909).

Bis Ende der vierziger Jahre finden sich weiters kaum nennenswerte Berichte über Wirkungen des Luftsprudelbades. Erst seit Beginn der fünfziger Jahre mehren sich die Veröffentlichungen auf diesem Gebiet, wohl nicht zuletzt deshalb, weil durch technische Weiterentwicklungen die Förderleistung der Aggregate wesentlich gesteigert werden konnte.

So werden die Geräte älterer Bauart wegen der Erzeugung zahlreicher feinster Luftbläschen als Luftperlbäder bezeichnet. Mit einem etwa fünfzehnmal größeren Luftdurchsatz bringen die Geräte neuerer Bauart das Badewasser in lebhafte, kochende Bewegung und werden deshalb als Luftsprudelbäder bezeichnet.

Im Folgenden wird - ohne Wertung - eine Aufstellung aller wesentlichen Wirkungen wiedergegeben, welche im Zusammenhang mit dem Luftsprudelbad von physikalisch-therapeutisch erfahrenen Untersuchern beschrieben werden. Demnach bewirkt es u.a.:

- Eine Spasmolyse auf die glatte Muskulatur (STIEVE 1952) infolge Eindringens feinster Luftbläschen in die Kapillarräume, wo ein Ionenaustausch vermittelt wird (SCHWARZ 1960, HAFERKAMP 1973).
- eine Entkrampfung auf das oberflächliche Venen- und Lymphgefäßnetz durch mechanische Reizung (RUSDEA 1976),
- eine Entkrampfung der gesamten Muskulatur (STIEVE 1952), Auflockerung des Bindegewebes (HAFERKAMP 1973), Unterstützung der lockernden Wirkung des Wassers (RUSDEA 1976),
- ein angenehmes Wärmegefühl (SCHWARZ 1960)
- dagegen: keine Senkung des Indifferenzpunktes wie im Kohlensäurebad - das dem CO_2-Bad eigentümliche Wärmegefühl fehlt (STIEVE 1952),
- eine Erweiterung der Hautgefäße und eine erhöhte Durchblutung der Haut (STIEVE 1952, SCHWARZ 1960, SCHOBERTH 1975, SCHMIDT 1976),

- eine Hautrötung (SCHWARZ 1960)
- dagegen: Keine Hautrötung (KAISER 1968, SENATOR u. SCHNÜTGEN 1909),
- eine Anregung der peripheren Durchblutung, sowie eine Verringerung des peripheren Widerstandes (SCHOBERTH 1975, SCHMIDT 1976)
- nur einen geringen Einfluß oder eine geringe Senkung des Blutdrucks bei Normotonikern (STIEVE 1952),
- eine ökonomisierende Wirkung auf das Herz- Kreislaufsystem durch ähnliche Mechanismen wie beim Kohlensäurebad (DREXEL 1970),
- eine leichte Massagewirkung, ähnlich den Sauerstoffbädern (SCHOBERTH 1975)
- eine taktile Reizung, lebhaftes Prickeln (STIEVE 1952) optischen und hautsensorischen Effekt (RUSDEA 1976),
- eine schröpfkopfähnliche Saugwirkung auf die Haut (SCHWARZ 1960, HAFERKAMP 1973),
- rhythmische Verengung bzw. Erweiterung der Kapillaren, rhythmische Viskositätsänderungen des Blutes vermöge des Zu- resp. Austritts von Gewebsflüssigkeit durch die ständig veränderten Druckverhältnisse (SCHWARZ 1960),
- eine Öffnung der Drüsenausgänge der Haut und Abstoßung von Sekretionsrückständen (SCHWARZ 1960),
- eine schnellere Resorption im Bad suspendierter Stoffe (SCHWARZ 1960, SCHOBERTH 1975)
- eine Verstärkung der chemischen Wirkung bei natürlichen und künstlichen Zusätzen (STIEVE 1952)
- Vertiefung der Respiration und Verringerung der Atemfrequenz (SCHWARZ 1960)

- eine Dämpfung des Vegetativum bei längerer Anwendung (STIEVE 1952),
- eine Erfrischung bei kurzdauernder Anwendung (STIEVE 1952),
- eine nervliche und allgemeine Entspannung (KAISER 1968, SCHOBERTH 1975, SCHMIDT 1976),
- eine Entmüdung (SCHOBERTH 1975, SCHMIDT 1976)

Positive klinische Wirkungen des Luftsprudelbades (LSB) wurden beobachtet bei folgenden Erkrankungen:

- Hypertonie durch warme LSB (STIEVE 1952, SCHWARZ 1960)
- peripheren Durchblutungsstörungen (STIEVE 1952, SCHWARZ 1960),
- Hypotonie durch kalte LSB (STIEVE 1952, SCHWARZ 1960, WADYNSKI 1976),
- Erkrankungen des Respirationstraktes wie Bronchitis, Asthma u.a. (SCHWARZ 1960),
- Kupierung von Erkältungskrankheiten (SCHWARZ 1960, BARTH 1959)
- chronischen Entzündungszuständen wie Arthritiden, Neuritiden und rheumatischen Erkrankungen (BARTH 1952, SCHWARZ 1960, SCHOBERTH 1975) - für den Hausgebrauch (WADYNSKI 1976)
- Bandscheiben-, Wirbelsäulenschäden und Wirbelsäulensyndromen (WADYNSKI 1976, KÜBEL 1975, SCHOBERTH 1975),
- spastische Obstipation (SCHWARZ 1960)
- Adipositas und Stoffwechselerkrankungen durch den Gebrauch heißer Vollschaum-LSB (SCHWARZ 1960, BARTH 1959),

- Hautkrankheiten durch Anregung der Hautfunktion (BARTH 1959, SCHWARZ 1960),
- allen funktionellen Herz- und Kreislaufstörungen, sowie bei neurozirkulatorischer Dystonie, Angina pektoris (BARTH 1959, SCHWARZ 1960, HAFERKAMP 1973),
- nervöser Übererregbarkeit (BARTH 1959, SCHWARZ 1960)
- depressiver Affektlage (SCHWARZ 1959)
- bei Schlafstörungen (BARTH 1959, SCHWARZ 1960)
- Müdigkeit und Mattigkeit (SCHMIDT 1976, WADYNSKI 1976)
- postoperativer Ödemneigung als erste Stufe der Hydrotherapie durch Entlastung der Schwellungsbereitschaft (RUSDEA 1976)

Alle Untersuchungen haben den Charakter von Erfahrungsberichten. Vergleichende Untersuchungen unter Berücksichtigung statistischer Kriterien sind meines Wissens bisher nicht bekannt geworden.

In jüngster Zeit fand HEILAND (1978) nach dem Luftsprudelbad, verglichen mit dem Süßwasserbad (35°C, 20 Min.), einen etwas stärkeren Anstieg der Hauttemperatur an Ober- und Unterarm, am Ober- und Unterschenkel, sowie auf dem Hand- und Fußrücken. Der Unterschied ließ sich jedoch nur bei jungen Versuchspersonen (bis 30 J.) am Oberschenkel statistisch sichern. Der Autor fand keine Differenz der Pulsfrequenz und des Blutdrucks nach den Bädern.

HECKMANN et al. (1980) sahen im thermoindifferenten Bad eine spontane Steigerung der O_2-Aufnahme um ca.+20% bei Anschalten des Luftsprudels, welche auf etwa +5% im wei-

teren Verlauf abfiel. Die Autoren vermuten darin eine "starke sympathikotone Reizwirkung", da sie außerdem eine Erhöhung der Pulsfrequenz beim Einschalten des Luftsprudels beobachten.

Abb.1: Badeversuch; im Hintergrund Versuchsaufbau

2. MATERIAL UND METHODEN (Abb. 1

2.1 VERSUCHSBEDINGUNGEN

Der Versuchsraum war vollklimatisiert. Die rel. Luftfeuchtigkeit betrug 70% bei einer Raumtemperatur von 24°C. Die Versuchswanne hat ein Fassungsvermögen von ca. 300 Liter. Für die Versuche wurde die Füllmenge von 250 Litern verwendet. Die Wassertemperatur wurde durch einen thermostatisch geregelten Mantelwasserkreislauf mit einer Abweichung von ±0,1°C konstant gehalten. Die Kontrolle erfolgte mittels eines Thermometers mit 0,1°-Graduierung.

2.2 LUFTSPRUDELGERÄT

Das mit dem Markennamen "MASSAMED"+ bezeichnete Gerät besteht aus einem Gebläse, das Luft durch die Poren der Luftsprudelmatte bläst. Die Matte ist aus Kunststoff gefertigt und besteht aus Lattenrosten, zwischen denen die Luftleiter mit Poren in einer Vertiefung von 0,5cm angebracht sind. Das Gebläse ist stufenlos regulierbar und hatte bei der von uns verwendeten höchsten Betriebsstufe einen Betriebsdruck von etwa 1000 mm Wassersäule. Bei einer Wassertiefe von 25 cm, in der sich die Luftsprudelmatte befand, betrug der Luftdurchsatz 212 l/min. Unter denselben Bedingungen betrug der Luftdurchsatz eines Perlgerätes 14 l/min. Die Luft wird so vorgewärmt, daß sie an den Poren mit ca. 38°C austritt.

+Fa. NEUMOD-Elektrogeräte GmbH + Co.KG, Rastede (Oldb)

2.3 KREISLAUFPARAMETER

2.3.1 DURCHBLUTUNG

Die Durchblutungsmessung wurde am rechten Unterschenkel, 10 cm unterhalb des Fibulaköpfchens, mit einem programmgesteuerten Dehnungsmeßstreifenplethysmographen (LPM-8191, Fa. U.G.Gutmann) durchgeführt: Zeittakt: 2 Min., Staudruck 80 mmHg. Aus der Steigung des Plethysmogramms konnte mit einer Genauigkeit von ±0,5 ml/100 ml Gewebe/min. die Durchblutung abgelesen werden. Für die Unterwassermessung wurde der Steckkontakt des Dehnungsmeßstreifens näher an das Gerät verlegt um Wasserberührung zu vermeiden.
Kontrollversuche mittels definierter Meßstrecken über und unter Wasser zeigten, daß die Meßgenauigkeit durch die Veränderungen nicht beeinflußt wurde.

2.3.2 PULSFREQUENZ

Durch Zählung von 10 Pulswellen auf dem Plethysmogramm, bezogen auf den Zeitvorschub, konnte mittels eines geeichten Lineals der Puls mit einer Genauigkeit von ca. ± 0,1 direkt abgelesen werden.

2.3.3 BLUTDRUCK

Der Blutdruck wurde nach der Methode von RIVA-ROCCI gemessen.

2.3.4 SCHELLONG-TEST

Für den Schellong-Test wurde der Radialispuls manuell gezählt. Die Blutdruckmessung erfolgte nach RIVA-ROCCI.

2.4 RESPIRATORISCHE PARAMETER

2.4.1 ATEMMINUTENVOLUMEN (AMV)

Über ein Atmungsventil wurde die ausgeatmete Luft durch eine Gasuhr geleitet, an der das expiratorische Atemvolumen in 0,1 Litereinheiten alle zwei Minuten abgelesen wurde.

2.4.2 ATEMFREQUENZ (AF)

Die Zählung der Atemzüge erfolgte über ein Zählwerk, welches über einen im Mundstück befindlichen Heißleiter gesteuert wurde (Verstärker KWS/T-5, Fa. Hottinger). Als Zählkriterium diente der Temperatursprung zwischen Inspiration und Expiration. Abgelesen wurde im 2-Minutentakt.

2.4.3 ATEMZUGVOLUMEN (AZV)

Der Quotient aus Atemminutenvolumen und Atemfrequenz ergab das Atemzugvolumen.

2.5 HÄMATOLOGISCHE PARAMETER

Die hämatologischen Parameter wurden im Institut für klinische Chemie, Klinikum Großhadern (Leiter: Prof. Dr. med. W. Vogt) bestimmt.

2.5.1 SERUMCORTISOL

Der Serum-Cortisolspiegel mittels der spezifischen Doppelisotopenmethode (RIA).

2.5.2 SONSTIGE

Natrium, Kalium, Gamma-Gt, GOT, Triglyceride, Cholesterin, Harnstoff, Harnsäure, Kreatinin.

2.6 PHYSIKALISCHE PARAMETER

2.6.1 REKTALTEMPERATUR

Die Körpertemperatur wurde fortlaufend rektal mit folgender Meßanordnung registriert: Temperaturfühler (ellab XR1, Fa. WILKENS), Temperaturmeßverstärker (Fa. KNAUER), Faltblattschreiber (PEN RECORDER PM8220, Fa. PHILLIPS). Die Eichkurve verlief im beobachteten Meßbereich (30 - 40^{o}C) linear. Danach konnte die Temperatur mit einer Genauigkeit von 0,05^{o}C fortlaufend abgelesen werden.

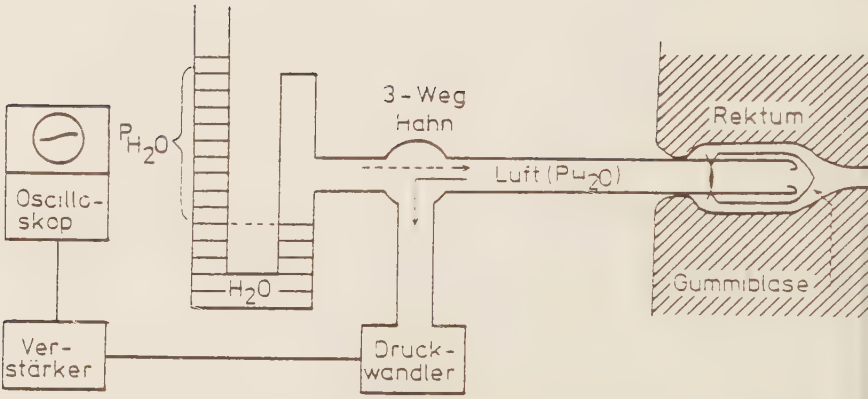
2.6.2 INTRAREKTALE DRUCKMESSUNG (Abb. 2)

Ein Teil der Luftsprudelbad (LSB)-Wirkung wird auf eine mechanische Komponente zurückgeführt, hervorgerufen durch die bei der Begasung entstehenden Druckschwankungen. Von den Herstellern wird dieser Effekt als "Vibrationsmassage" bezeichnet. Es wurde versucht, mittels einer in Abb. 2 dargestellten Versuchsanordnung das Eindringen der Druckschwankungen in tiefere Schichten des Körpers zu erfassen (Amplitude u. Frequenz).

Die Anordnung bestand aus:

a) einer Rektalsonde mit Gummiblase
b) einer Einrichtung zur Erzeugung eines definierten Luftdrucks in der Gummiblase
c) einem Druckwandler
d) einer Verstärkereinheit mit Oscilloskop

Durch Veränderungen der Wassersäule und damit des Luftdruckes wurde die Anordnung geeicht. Die dem konstanten Luftdruck überlagerten Druckschwankungen im Luftsprudelbad wurden auf dem Oscilloskop dargestellt und fotografiert.



Versuchsanordnung zur Messung intrarektaler Druckschwankungen

Abb.2

2.7 VERSUCHSABLAUF

Zur Verfügung standen 10 junge, gesunde Männer und Frauen im Alter von 20 bis 30 Jahren, alle eher schlank, d.h. nur geringe Schwankungen des Unterhautfettgewebes (s. PIRLET 1969).
Da bei der großen Zahl der Versuche zu erwarten war, daß sie sich über eine längere Zeit hinziehen würden und um innerhalb eines Temperaturbereiches eine vergleichbare Ausgangssituation sicherzustellen, wurden die Bäder für jeden Temperaturbereich zeitlich nacheinander durchgeführt: im März und April die heißen Bäder, im Mai und Juni die indifferenten und im Juli und August die kühlen Bäder.

Da einzelne Versuchspersonen nicht für alle 3 Temperaturbereiche zur Verfügung standen, zeigte die Zusammensetzung der 3 jeweiligen Versuchskollektive geringe Unterschiede. Die Meßergebnisse aus verschiedenen Temperaturbereichen sind deshalb nur mit dieser Einschränkung vergleichbar. (Nicht der Temperaturvergleich, sondern der Vergleich zweier Bäderarten war Zweck der Untersuchung).

Innerhalb der Temperaturbereiche wurden an verschiedenen Tagen, jeweils um 11.00 Uhr vormittags, die Versuchspersonen in statistisch zufälliger Folge je einmal in einem Luftsprudelbad, bzw. in einem Süßwasserbad gebadet.

Nach Schellong-Test und Blutentnahme legten sich die Probanden auf die Hebebühne, wo im Zweiminutentakt zunächst zweimal die Ruhewerte ermittelt wurden. Unmittelbar nach dem letzten Ruhewert wurden sie zum Zeitpunkt null in das Bad gesenkt und nach 22 Min. - nach der 11. Meßabnahme - wieder ausgehoben. Während der Plethysmogrammschreibung wurde, mit Rücksicht auf eine auswertbare Volumenpulskurve, der Luftsprudel für 30 Sek., insgesamt also für 5,5 Min. abgeschaltet. Bis zur 30. Minute wurde die Rückkehr der Meßwerte weiter verfolgt, anschließend zweiter Schellong-Test und zweite Blutentnahme.

2.8 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Sowohl für jeden Meßzeitpunkt, als auch für alle Meßdaten der Badephase wurden der Mittelwert und der mittlere Fehler der Standardabweichung (SEM) des SWB und des LSB berechnet und graphisch dargestellt. Ferner wurden die zu vergleichenden Meßwertpaare mit dem t-Test auf Signifikanz geprüft. Ergebnisse mit $p \leq 0{,}05$ wurden als signifikant beurteilt. Das zugehörige Rechenverfahren (nach SACHS 1972) wurde auf einem TI-Rechner SR 52 einprogrammiert.

3. ERGEBNISSE

SWB = Wasserbad ohne Luftsprudel

LSB = Luftsprudelbad

3.1 REKTALTEMPERATUR, AUFHEIZZEIT (Abb.3 u.4)

a) 40°-Bad:

SWB: Anstieg um + 1,0°C

LSB: Anstieg um +1,5°C

Die Differenzen am Ende des Bades sind hochsignifikannt.($p < 0,0001$)

Im Vergleich zu Punkt d) ist zu berücksichtigen, daß nur 16,5 Min. effektiv besprudelt wurde (s. Versuchsablauf : 22 Min. - 5,5 Min)

b) 36°-Bad:

SWB: Rektaltemperatur unverändert

LSB: Rektaltemperatur gegenüber dem SWB bis Ende des Bades auf +0,2°C ansteigend.

Die Differenzen am Ende des Bades sind signifikant. ($p < 0,01$)

c) 32°-Bad:

SWB: Abfall um -0,2°C

LSB: Abfall um -0,3°C

Die Differenzen am Ende des Bades sind signifikant. ($p < 0,05$)

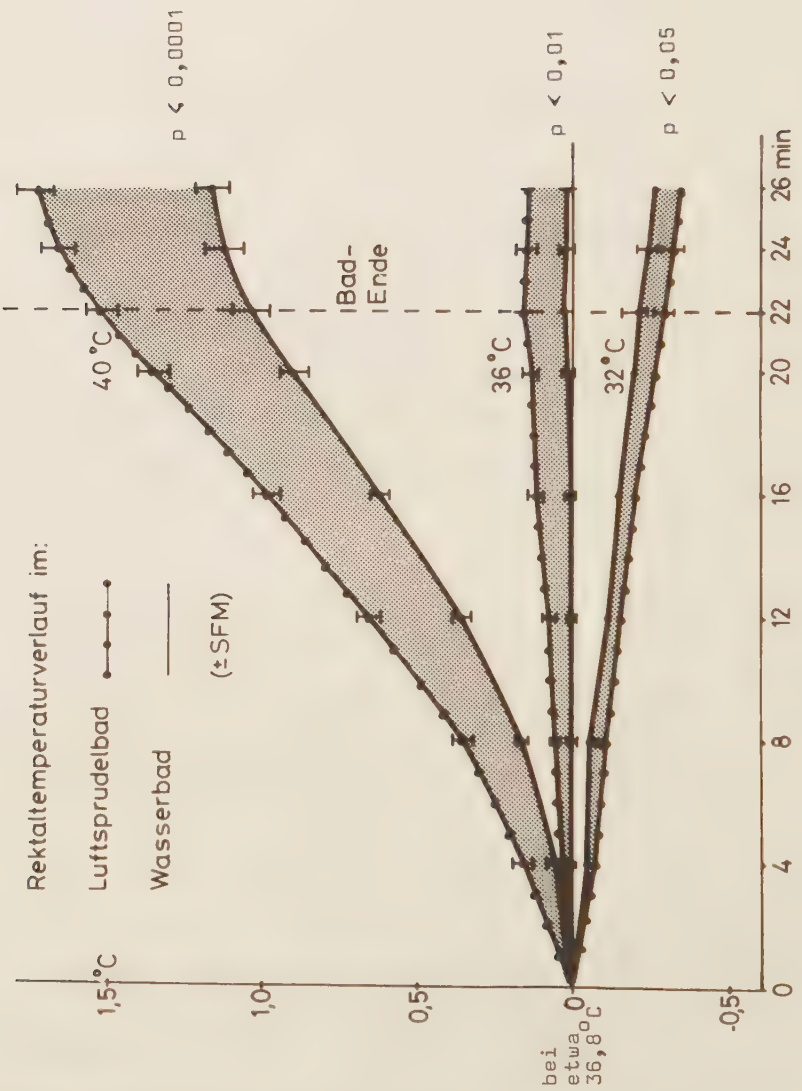


Abb.3: Verlaufskurven der Rektaltemperatur im SWB und LSB. Schraffierte Flächen zeigen die Differenz von SWB und LSB. Signifikanzberechnungen jeweils für die am Ende des Bades ermittelten Meßwertepaare. Der mittlere Ausgangswert liegt bei etwa 36,8°C.

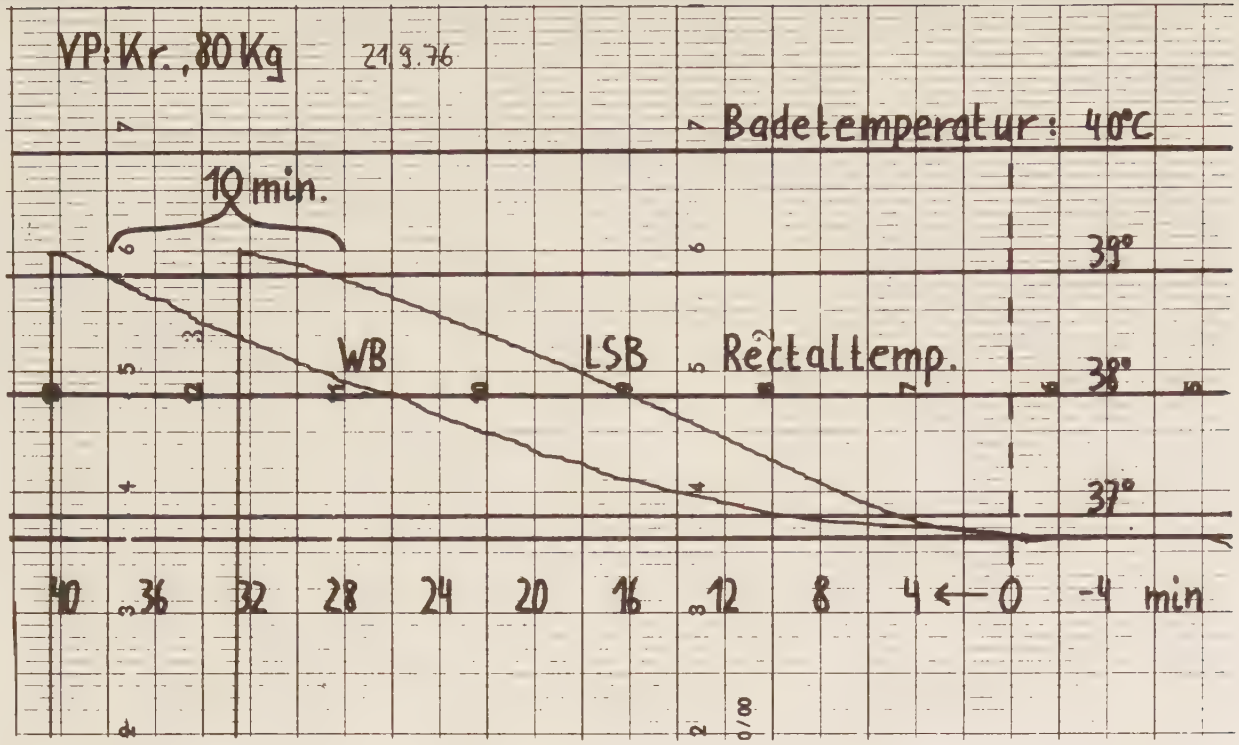


Abb.4: Doppelversuch zur Bestimmung des Zeitbedarfs, um eine definierte Hyperthermie (max. 39°C) im 40°-Überwärmungsbad mit und ohne Luftsprudel zu erzeugen.

d) 39^{0}-Rektaltemperatur-Doppelversuch

In einem gesonderten Doppelversuch wurde ermittelt, wieviel Zeit beide Bäderarten bei einer Badetemperatur von $40^{\circ}C$ benötigen, um eine definierte Hyperthermie (max. $39^{\circ}C$) zu erzeugen.

Um die 38°-Marke zu erreichen, benötigt das SWB 26 Min., das LSB 16 Min. (Zeitbedarf um 39% reduziert).

Um die 39°-Marke zu erreichen benötigt das SWB 38 Min., das LSB 28 Min. (Zeitbedarf um 27% reduziert).

3.2 PULSFREQUENZ (Abb. 5)

a) 40°-Bad:

SWB: Anstieg um +40/min.

LSB: Anstieg um +43/min. Die mittlere Pulsfrequenz ist gegenüber dem SWB um +5/min. erhöht. Der Unterschied ist signifikant. Es ist hervorzuheben, daß sich dieser Unterschied bereits in der 4. Bademinute einstellt und danach weitgehend konstant bleibt. Nach den Bädern rascher Abfall, jedoch Vergrößerung der Differenz bis auf +11/min. im LSB.

b) 36°-Bad:

SWB: Anstieg um +8/min.

LSB: Anstieg um +6/min. Die mittlere Pulsfrequenz ist gegenüber dem SWB um 2/min. erniedrigt. Der Unterschied ist signifikant.

Nach den Bädern sofortiger Angleich und Rückgang auf Ruhewert.

c) 32°-Bad:

Keine Differenz in der Badephase. Horizontaler bis leicht absinkender Kurvenverlauf.

Nach den Bädern:

SWB: Verlauf gegenüber der Badephase unverändert.

LSB: deutliches Absinken unter die bei Ruhe und im Bad gemessenen Werte. Gegenüber dem SWB um 3 erniedrigt. Der Unterschied befindet sich mit 2x $p<0,1$ nahe der Signifikanzgrenze.

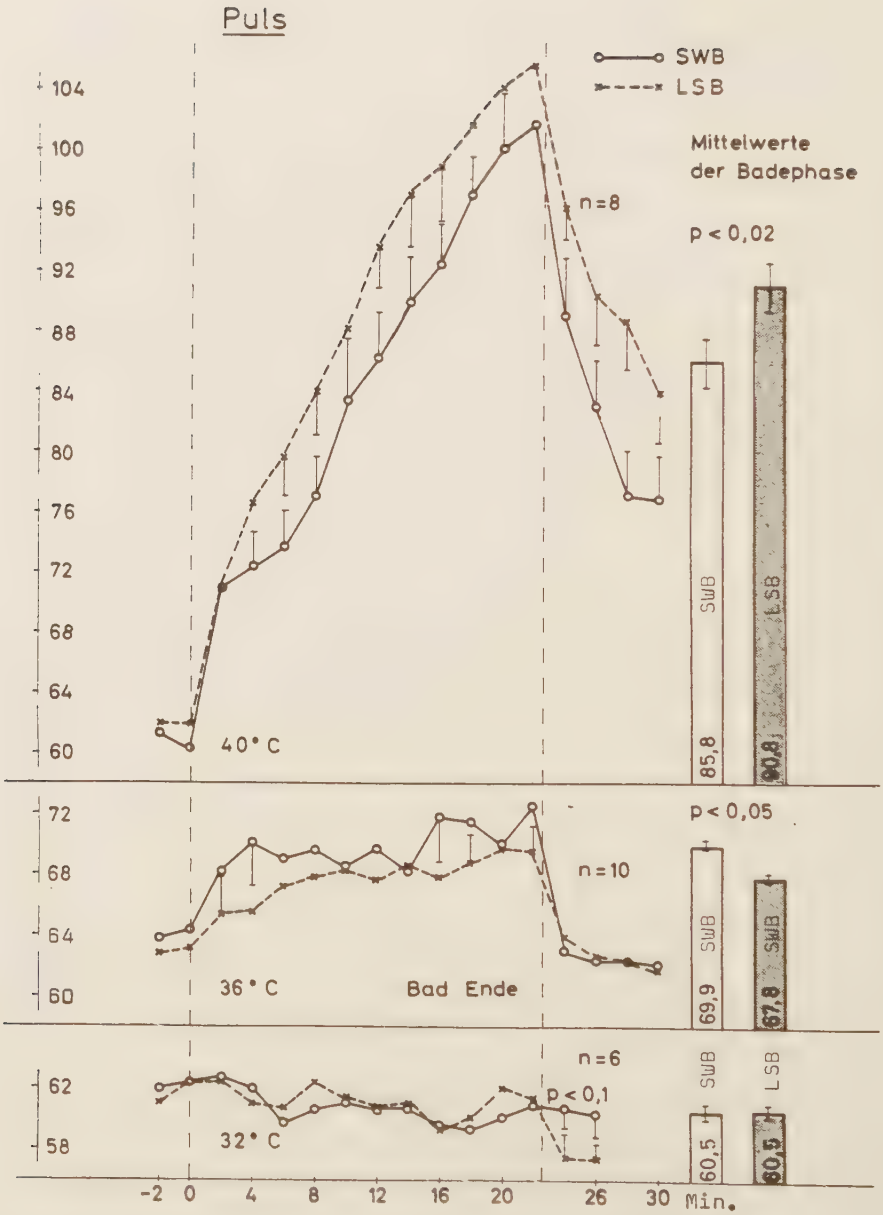


Abb.5: Verlaufskurven der Pulsfrequenz im SWB und LSB

3.3 DURCHBLUTUNG der unteren Extremität. (Abb.6)

a) 40°-Bad:

SWB: kontinuierlicher Anstieg auf das 7-fache des Ruhewertes.

LSB: kontinuierlicher Anstieg auf das 8-fache des Ruhewertes. Die Kurve ist im Schnitt um nahezu 2 ml/1oomlXmin (=100%) gegenüber dem SWB angehoben. Der Unterschied ist signifikant.

Nach den Bädern rascher Abfall um ca. 7 ml/1ooXmin. Der weitere Verlauf in der Badenachphase ist beim SWB horizontal auf etwa das 5-fache des Ruhewertes angehoben; beim LSB steigt er wieder langsam auf etwa das 6,5-fache des Ruhewertes an.

b) 36°-Bad:

SWB: initialer Anstieg um 5o %. In der Folge kontinuierlicher Anstieg bis 125 % über Ruhewert.

LSB: Identischer Kurvenverlauf gegenüber dem SWB.

Nach den Bädern rasche Rückkehr zu Ruhewerten.

c) 32°-Bad:

SWB: weitgehend horizontaler Verlauf - gegenüber dem Ruhewert geringfügig gesenkt.

LSB: weitgehend horizontaler Verlauf - gegenüber dem Ruhewert und SWB (im Schnitt um o,7 ml/100 ml X min = 2o %) geringfügig angehoben. Der Unterschied ist hochsignifikant.

Nach beiden Bädern Abfall um ca. 25 %.

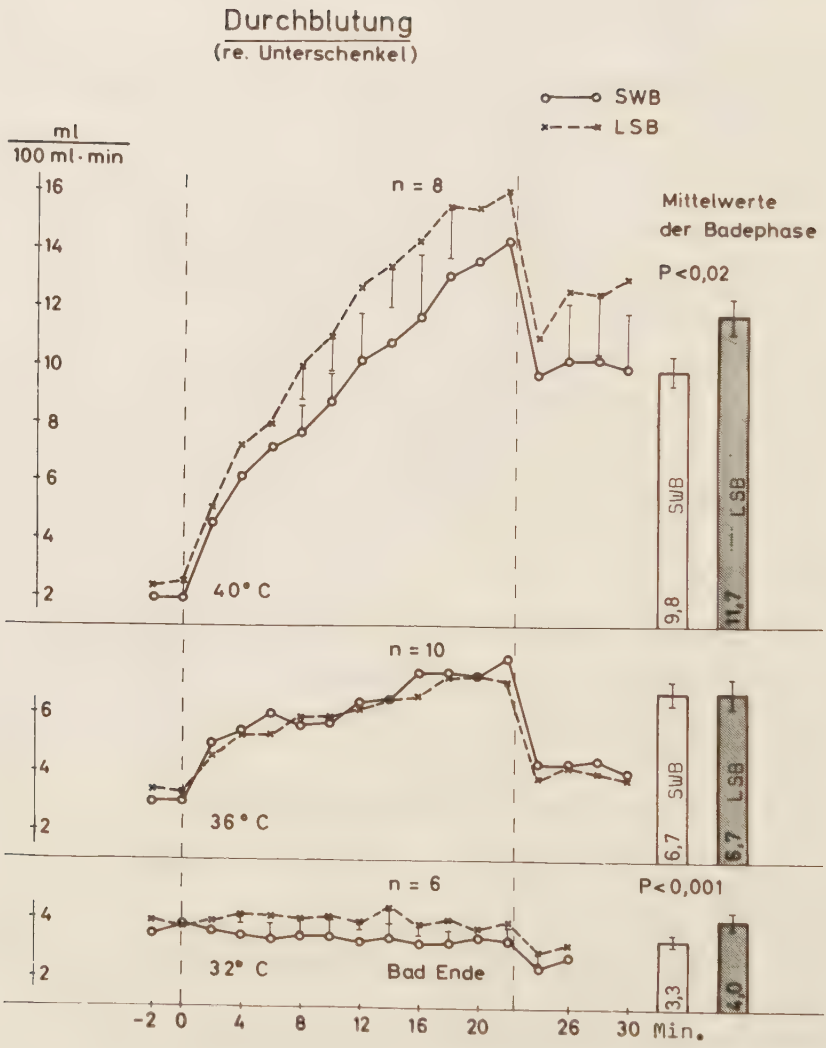


Abb.6: Verlaufskurven der Extremitätendurchblutung im SWB und LSB

3.4 BLUTDRUCK (RR) (Abb. 7)

a) 40°-Bad:

SWB: geringer Abfall des systolischen Druckes um wenige mm Hg bis zur 12. Bademinute. Danach leichter kontinuierlicher Anstieg zu Ruhewerten.
Initial deutlicher Abfall des diastolischen Druckes. Anschließend kontinuierlicher Abfall bis ca. 15 mm Hg unter Ruhewert.

LSB: Initial deutlicher Abfall des systolischen Druckes um 1o mm Hg. Danach kontinuierlicher Anstieg zu Ruhewerten. Die Kurve ist um wenige mm Hg gegenüber dem SWb erhöht. Der Unterschied ist nicht signifikant.
Initial deutlicher Abfall des diastolischen Druckes. Anschließend kontinuierlicher Abfall bis 2o mm Hg unter Ruhewert. Die Kurve ist gegenüber dem SWB um einige mm Hg erniedrigt. Der Unterschied ist nicht signifikant.

b) 36°-Bad:

SWB: deutlicher initialer Abfall des systolischen und des diastolischen Druckes. Danach horizontaler Verlauf beider Druckkurven.

LSB: nahezu identischer Verlauf wie SWB.

c) 32°-Bad:

SWB: initialer Abfall des systolischen Druckes um ca. 1o mm Hg. Danach horizontaler Verlauf etwa in Höhe des Ruhewertes.

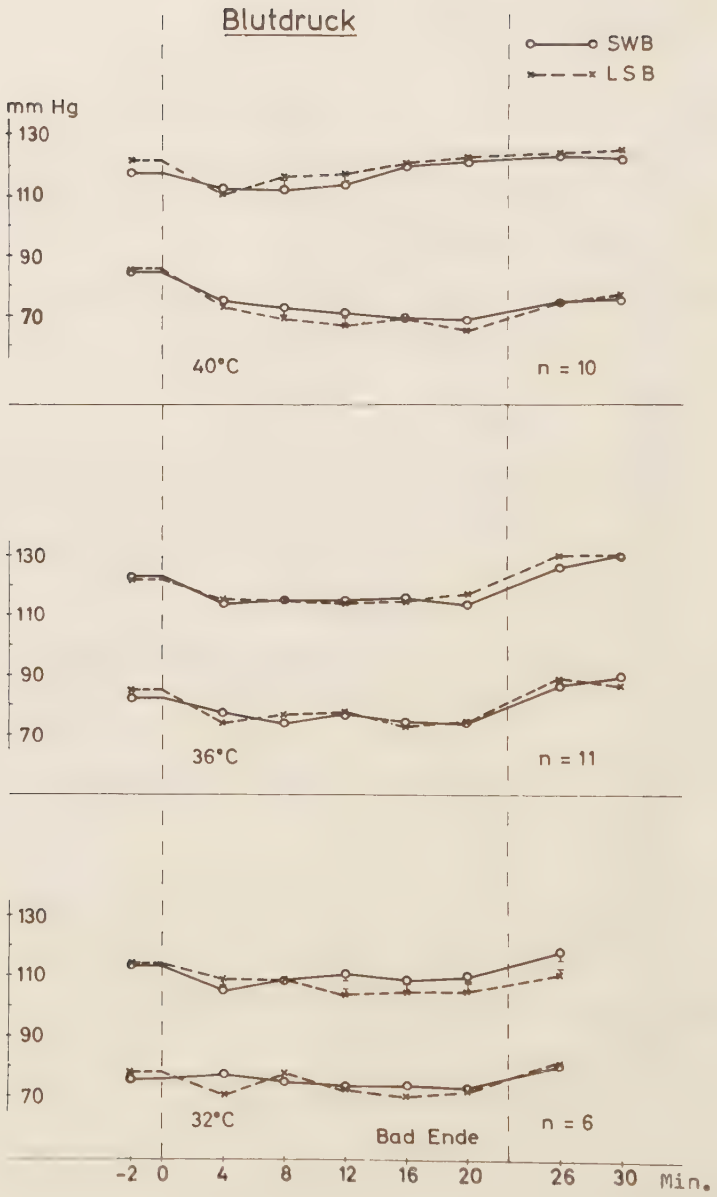


Abb.7: Verlaufskurven des Blutdrucks (RR) im SWB und LSB

Horizontaler Verlauf der diastolischen Druckkurve in Höhe des Ruhewertes.

LSB: kontinuierlicher Abfall des systolischen Druckes bis etwa 1o mm Hg unter Ruhewert. Ab der 8. Bademinute ist die systolische Druckkurve um etwa 5 mm Hg gegenüber dem SWB erniedrigt. Der Unterschied ist signifikant. Die diastolische Druckkurve ist mit dem SWB weitgehend identisch.

d) Nach den Bädern haben alle RR-Werte eine ansteigende Tendenz.
Nur der systolische Druck des 32°-warmen LSB ist gegenüber dem SWB signifikant ($p < 0,05$) erniedrigt. Ansonsten werden keine signifikanten Unterschiede in der Badenachphase beobachtet.

3.5 BLUTDRUCKAMPLITUDE (Abb. 8)

a) 40°-Bad:

SWB: kontinuierlicher Anstieg bis +2o mm Hg.

LSB: kontinuierlicher Anstieg bis +25 mm Hg. Die Kurve ist gegenüber dem SWB um 10 - 20 mm Hg erhöht (Differenz-max. 8. und 12. Bademinute). Der Unterschied ist signifikant.

(Der nicht signifikant höhere systolische und niedrigere diastolische RR im heißen LSB ergibt eine signifikant größere RR-Amplitude gegenüber dem SWB.)

b) 36°-Bad:

SWB: weitgehend horizontaler Verlauf in Höhe des Ruhewertes.

LSB: Kurve gegenüber SWB weitgehend identisch.

c) 32°-Bad:

SWB: deutlicher initialer Abfall um 8 mm Hg. Danach kontinuierlicher Anstieg etwa bis Ruhewert.

LSB: geringer initialer Anstieg um wenige mm Hg. Initialwert gegenüber SWB signifikant erhöht. Danach rascher Abfall auf 8 mm Hg unter Ruhewert. In der weiteren Folge nahezu horizontaler Verlauf - gegenüber dem SWB und Ruhewert um etwa 3 - 5 mm Hg erniedrigt.

Nach den Bädern vergrößert sich die Differenz weiter auf 7 mm Hg. Dieser Unterschied befindet sich mit $p < 0,1$ nahe der Signifikanzgrenze.

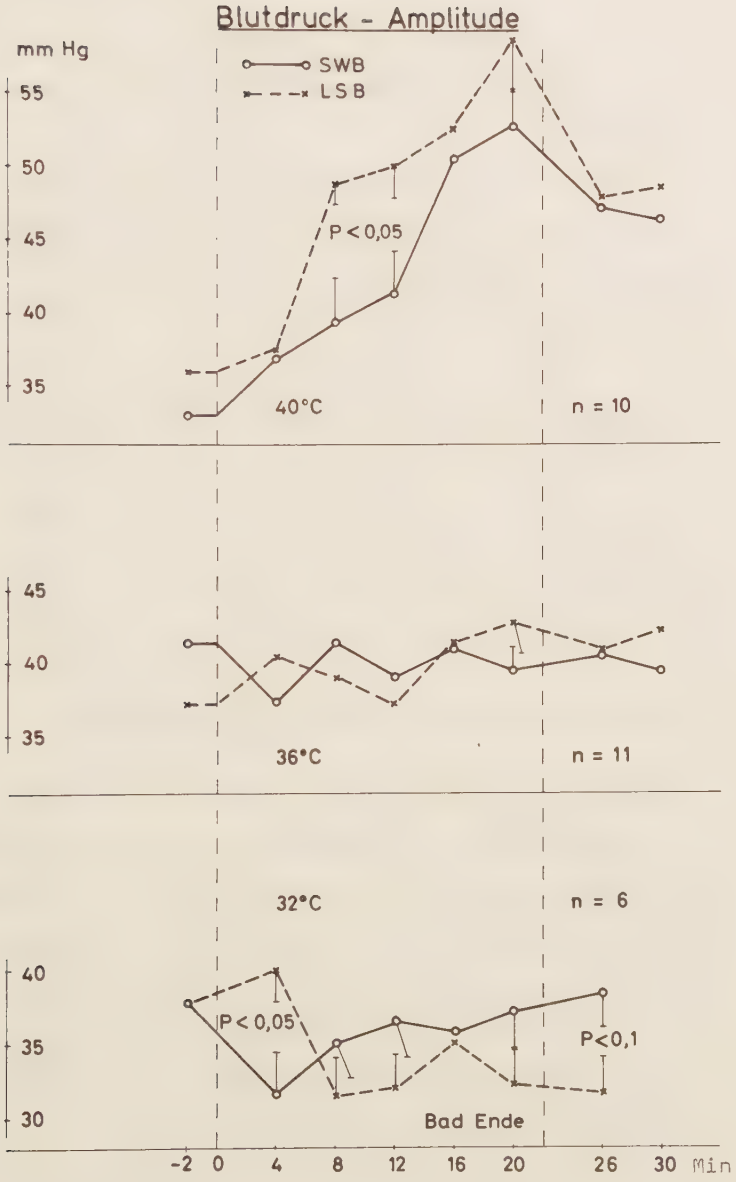


Abb.8: Verlaufskurven der Blutdruckamplitude im SWB und LSB

3.6 AMPLITUDENFREQUENZPRODUKT (AFP) (Abb. 9)

a) 40°-Bad:

SWB: kontinuierlicher Anstieg um das 2,5-fache des Ruhewertes.

LSB: kontinuierlicher Anstieg um das 2,8-fache des Ruhewertes. Das AFP ist etwa um 3o % des Ruhewertes gegenüber dem SWB angehoben. Der Unterschied (Max. 8. u. 1o. Bademinute) ist signifikant.

Nach den Bädern sofortiger Angleich und rascher Abfall der Werte.

b) 36°-Bad:

SWB: Anstieg um etwa 25 % des Ruhewertes.

LSB: gegenüber SWB weitgehend identischer Kurvenverlauf.

Nach den Bädern rascher Rückgang zu Ruhewerten.

c) 32°-Bad:

SWB: initial deutliches Absinken um 2o % des Ruhewertes. Danach horizontaler Verlauf auf dem erniedrigten Niveau.

LSB: geringfügiger initialer Anstieg. Der Initialwert ist gegenüber dem SWB nicht signifikant erhöht. Danach Abfall auf 20 % unter Ruhewert. In der Folge horizontaler Verlauf auf dem erniedrigten Niveau- gegenüber dem SWB weitgehend identisch.

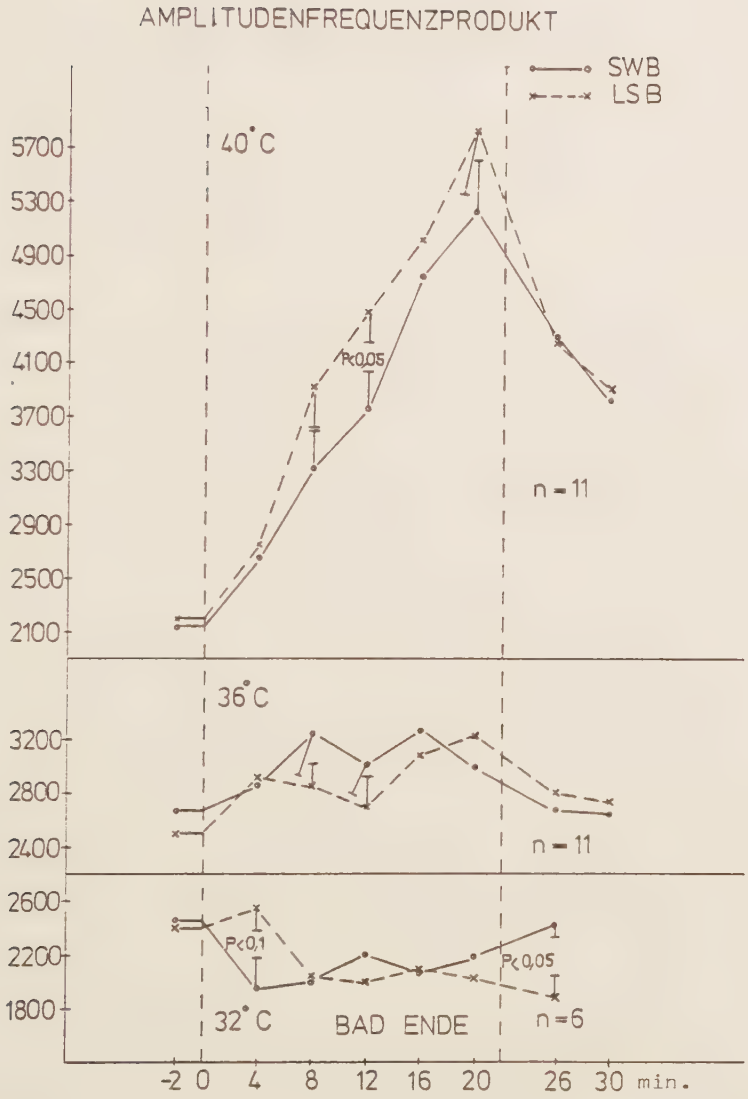


Abb.9: Verlaufskurven des Amplitudenfrequenzproduktes im SWB und LSB.

Nach den Bädern:

SWB: Rückkehr (Anstieg) zum Ruhewert.

LSB: unveränderter Verlauf - gegenüber Ruhewert und SWB um etwa 2o % erniedrigt. Der Unterschied ist signifikant.

3.7 SCHELLONG-TEST (Abb. 10)

a) 40°-Bad:

Die RR- und Pulswerte sind vor und nach beiden Bädern weitgehend identisch.

Lediglich der erste Pulswert des Testes ist nach beiden Bädern um +10/min höher als vor den Bädern. Der Unterschied ist signifikant.

b) 36°-Bad:

Weitgehend identische RR-Werte vor und nach beiden Bädern.

Der Puls ist nach beiden Bädern um-5 - 8/min gegenüber den Meßwerten vor dem Bad erniedrigt. Der Unterschied ist signifikant.

Kein signifikanter Unterschied von SWB und LSB.

c) 32°- Bad:

Vor allem die systolischen Drucke sind nach dem LSB gegenüber dem SWB und den Ruhewerten um+5 - 8 mm Hg erhöht. Der Unterschied ist für einen Meßwert (Aufstehwert) signifikant. (Es ist bemerkenswert, daß die RR-Werte im LSB gegenüber dem SWB signifikant erniedrigt waren.)

Kein signifikanter Unterschied von SWB und Ruhewerten.

Die Pulse sind nach beiden Bädern um-6 - 12/min gegenüber den Ruhewerten erniedrigt. Der Unterschied ist signifikant.

Keine Differenz zwischen SWB und LSB.

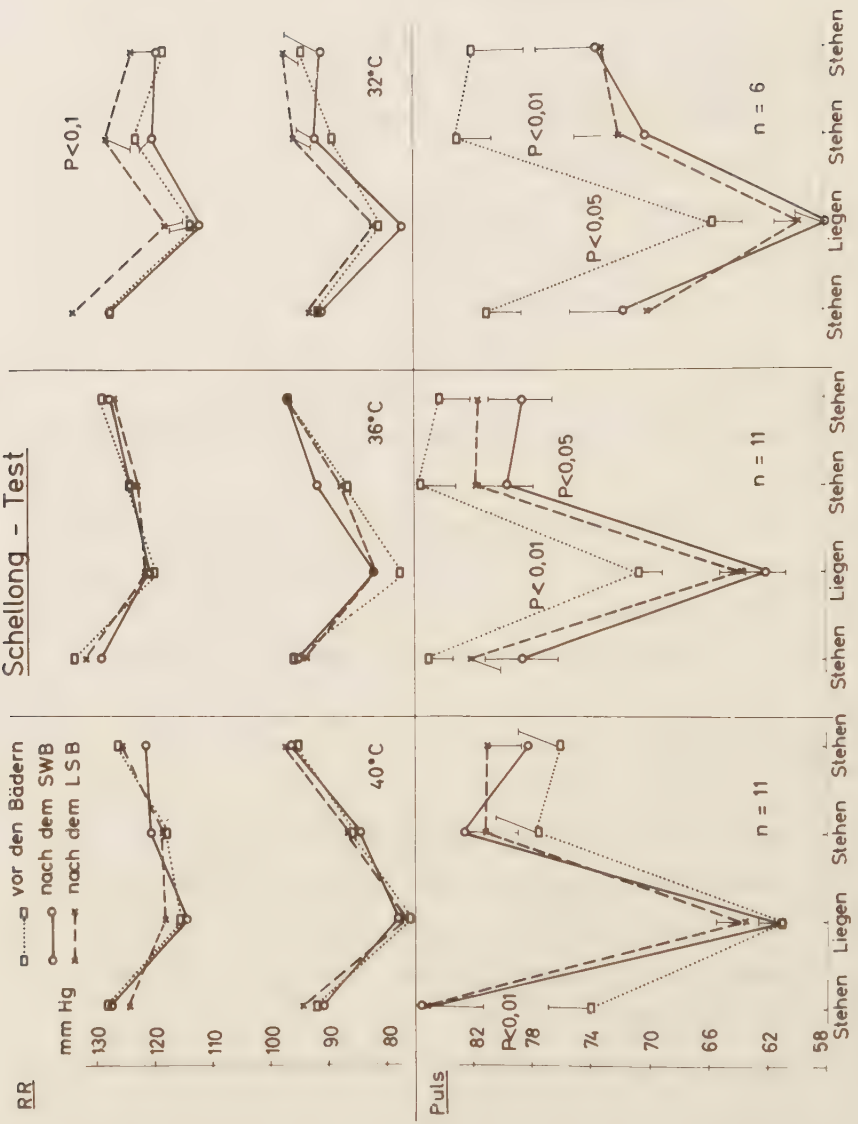


Abb.10: Schellong-Test vor den Bädern, nach dem SWB und nach dem LSB

3.8 ATEMMINUTENVOLUMEN (AMV) (Abb. 11)

a) 36°C

SWB: Nahezu horizontaler Verlauf in der Badephase

LSB: deutlich initialer Anstieg, im weiteren Verlauf gegenüber dem SWB deutlich angehoben (ca. 1 l/min). Die Differenzen sind für praktisch alle Meßwerte in der Badephase signifikant.

b) 40°C

SWB: initialer Anstieg um 1,2 l/min, dann kontinuierliche Steigung bis 2,2 l über Ausgangswert.

LSB: initialer Anstieg um 2,2 l/min, dann kontinuierlicher Anstieg bis auf ca. 4 l über Ausgangswert. Die Differenzen gegen Ende der Badephase sind signifikant.

c) 32°C

SWB: initialer Anstieg um 1,7 l/min, danach kontinuierlicher und rascher Abfall bis etwa 2,5 l unter Ausgangswert, ab der 8. Bademinute nahezu horizontaler Verlauf bis zum Badende auf dem, gegenüber dem Ausgangswert, erniedrigten Niveau.

LSB: initialer Anstieg um 2,7 l/min, ab der 8. Bademinute nahezu horizontaler Verlauf etwa in Höhe des Ausgangswertes, gegenüber dem SWB in der gesamten Badephase um 2-3 l deutlich angehoben.

Die Differenzen sind für praktisch alle Meßwerte signifikant.

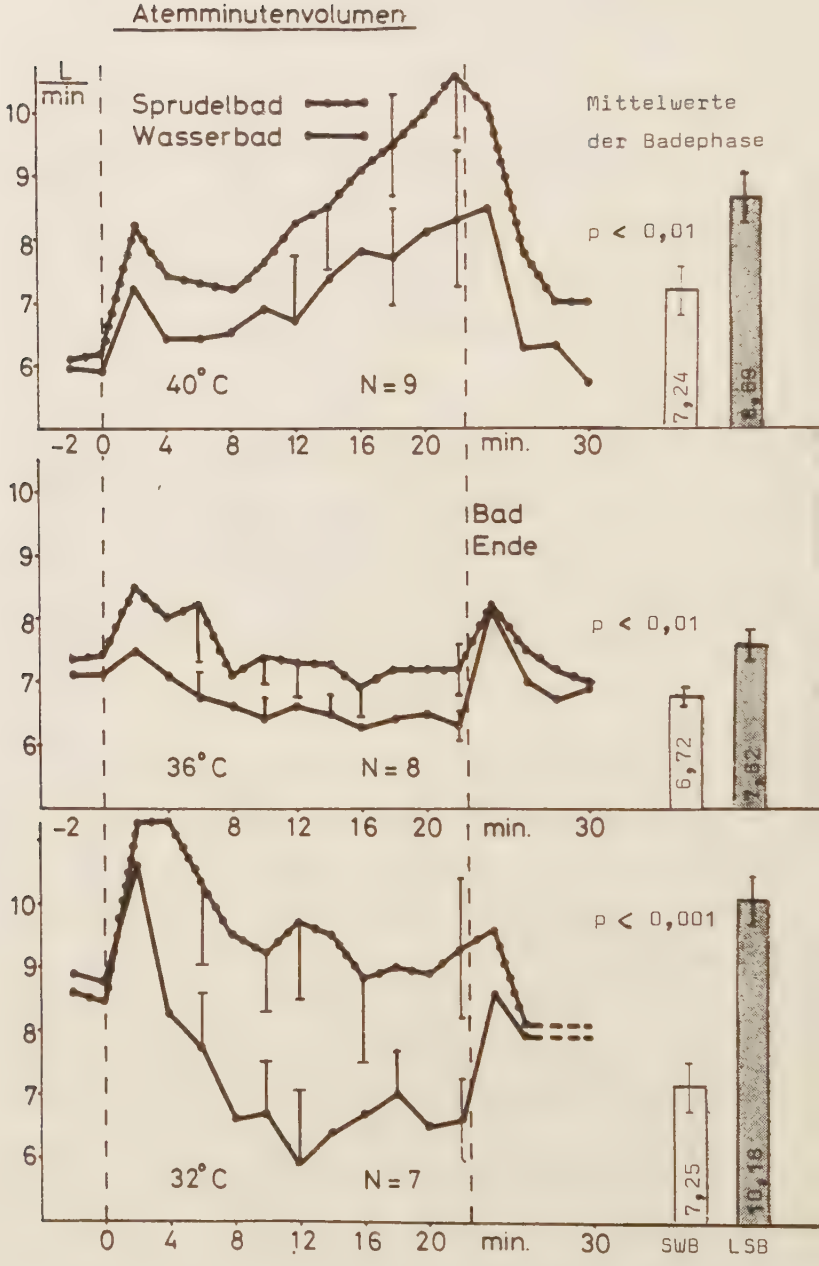


Abb.11: Verlaufskurven des Atemminutenvolumens im SWB und LSB

3.9 ATEMFREQUENZ (AF) (Abb. 12)

a) 40°-Bad:

SWB: geringer initialer Anstieg, danach bis zur 14. Bademinute nahezu horizontaler Verlauf etwas über Ruhewert. Anschließend bis zum Badende Frequenzabfall bis 1/Min. unter Ruhewert.

LSB: deutlicher initialer Anstieg. Im weiteren Verlauf kontinuierlicher Frequenzabfall bis 1/Min unter Ruhewert.

Kein signifikanter Unterschied im Vergleich zum SWB. Nach den Bädern pendelt sich die AF sofort wieder auf die Ruhewerte ein.

b) 36°-Bad:

SWB: geringer initialer Anstieg. Danach horizontaler Verlauf in Höhe des Ruhewertes. Nach dem Bad deutlicher Frequenzabfall um nahezu 2/Min unter Ruhewert.

LSB: geringer initialer Anstieg. Danach gegenüber dem SWB und dem Ruhewert deutlich gesenkt (1/Min). Die Differenz ist für die Summe der Meßwerte hochsignifikant. Nach dem Bad sind die Werte gegenüber dem SWB deutlich angehoben, da hier ein weiterer Frequenzabfall ausbleibt. Auch dieser Unterschied ist für einen Meßwert signifikant.

c) 32°-Bad

SWB: Nahezu horizontaler Verlauf in der Badephase. Nach dem Bad deutlicher Frequenzabfall (ca. 2/Min).

LSB:horizontaler Verlauf während und nach dem Bad,

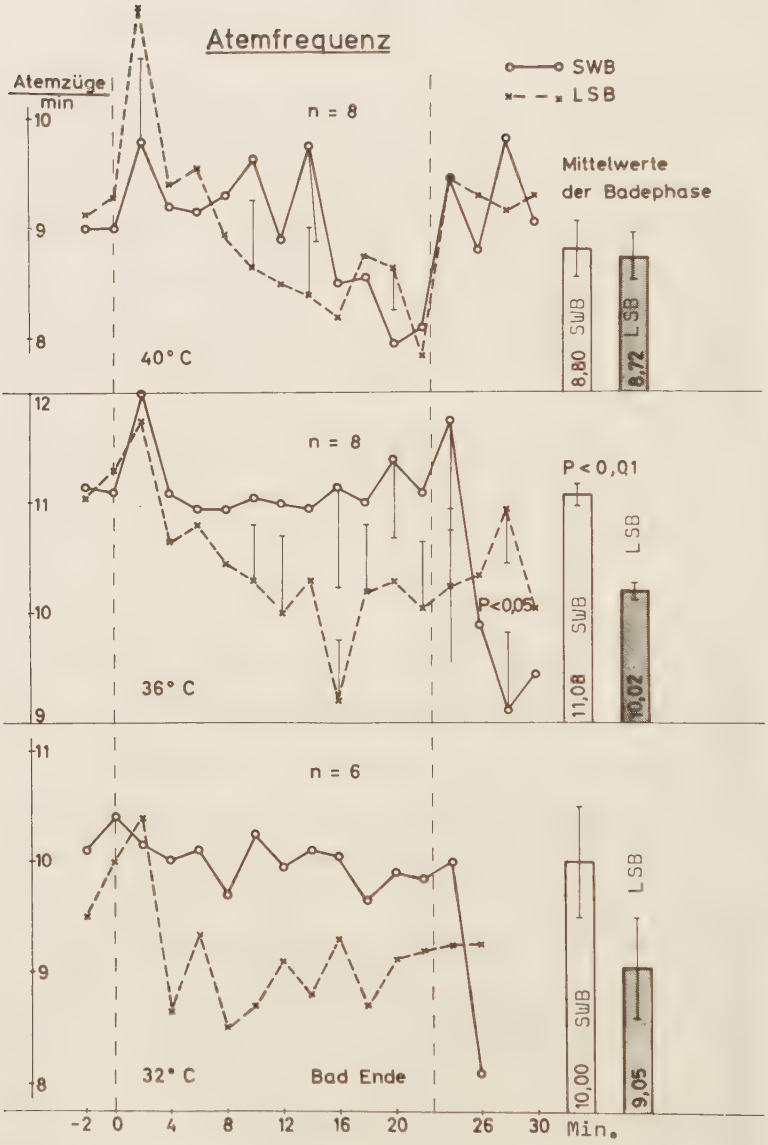


Abb.12: Verlaufskurven der Atemfrequenz im SWB und LSB

gegenüber dem SWB und Ruhewert um ca. -1/min gesenkt.

Wegen extremer Scwankungen der Werte - längere Phasen mit Bradypnoe im Wechsel mit kürzeren Phasen relativer Tachypnoe - waren die Signifikanzberechnungen negativ. Auf eine Darstellung der Standardabweichungen, die etwa 1 - 2/min betrugen, wurde deshalb aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet.

3.10 ATEMZUGVOLUMEN (AZV) (Abb. 13)

Aus den bereits beschriebenen Atmungsgrößen resultieren im Schnitt signifikant tiefere Atemzüge in den LSB gegenüber den SWB.

a) 40°- Bad:

SWB: Anstieg um +o,3 l

LSB: Anstieg um +o,6 l. Mittleres AZV gegenüber SWB um o,1 l erhöht. Der Unterschied ist signifikant.

b) 36°-Bad:

SWB: leichter Abfall unter Ruhewert.

LSB: horizontaler Kurvenverlauf in Ruhewert-Niveau. Mittleres AZV gegenüber SWB um 0,08 l erhöht. Der Unterschied ist hochsignifikant.

c) 32°-Bad:

SWB: geringer initialer Anstieg. Danach kontinuierlicher Abfall bis ca. 0,3 l unter Ruhewert.

LSB: rascher Anstieg um +0,4 l. Danach weitgehend horizontaler Verlauf, etwa 0,3 l über Ruhewert. Mittleres AZV um 0,35 l gegenüber SWB erhöht. Der Unterschied ist hochsignifikant.

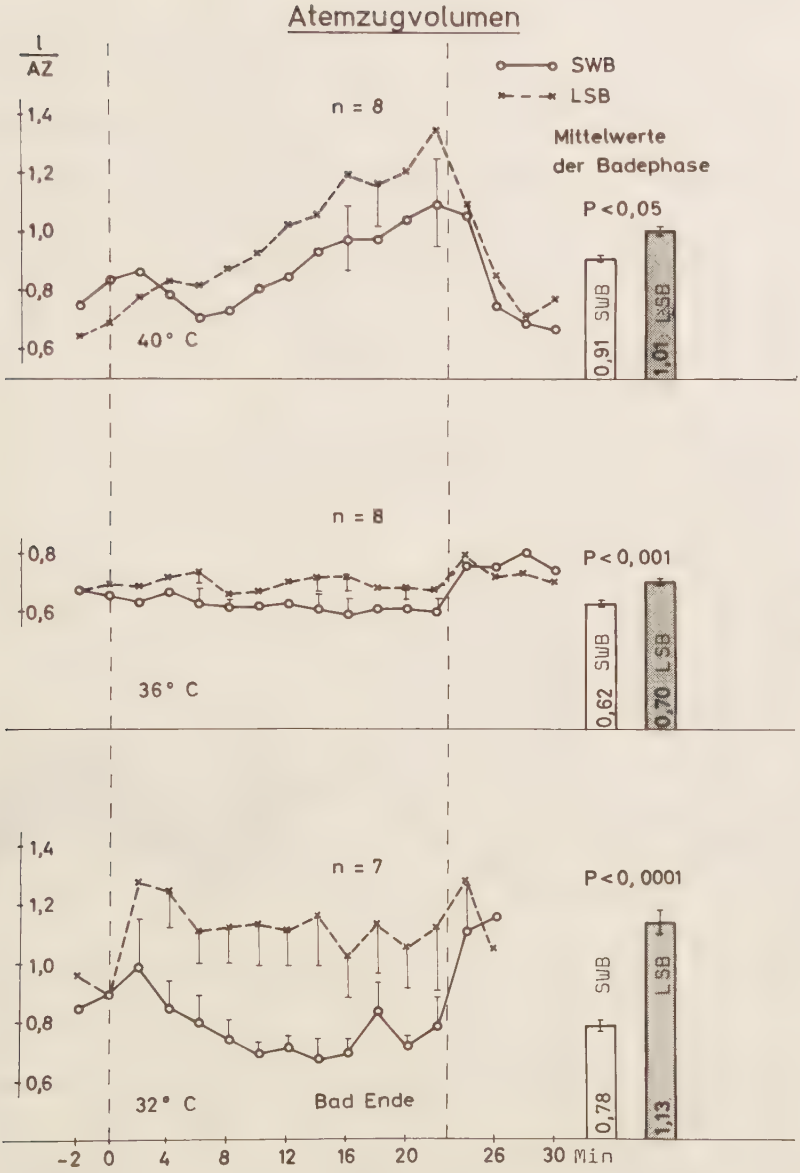


Abb.13: Verlaufskurven des Atemzugvolumens im SWB und LSB

3.11 INTRAREKTALE DRUCKMESSUNG (Abb. 14)

Mit Hilfe der in Abb. 2 dargestellten Anordnung konnten wir feststellen, daß bei Besprudelung auch im Körperinnern Vibrationen mit einem Maximum zwischen 5 und 2o Hz und einer Druckstärke von ca. 5 cm H_2O auftreten. Die Abb. 14 zeigt ein Oszilloskopbild, auf dem man die Atemschwankung, den aufgesetzten Aortenpuls und die Druckschwankungen durch den zugeschalteten Luftsprudel erkennt.

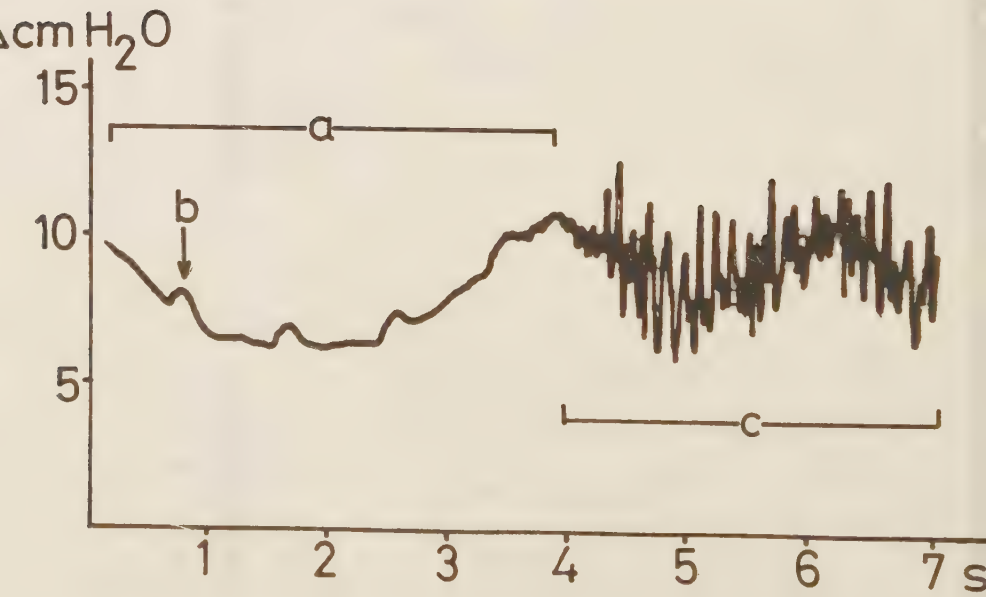


Abb.14: Oscilloskopbild von intrarektalen Druckschwankungen im Wasserbad mit und ohne Luftsprudelzusatz. Zeichenerklärung: a = Atemexkursion und b = Aortenpuls im Wasserbad ohne Luftsprudelzusatz, c = Oscillationen nach Zuschalten des Luftsprudels.

3.12 PLASMACORTISOL (Abb. 15)

a) 40°-Bad:

SWB: Trotz der großen Wärmebelastung kommt es nur zu einer mäßigen Anhebung des Cortisolspiegels.

LSB: Erst bei zusätzlicher Besprudelung erfolgt ein stärkerer Anstieg.

b) 36°-Bad:

Im SWB und LSB kommt es offenbar zu einer eindeutigen Senkung des Cortisolspiegels. Es zeigt sich kein Unterschied.

c) 32°-Bad:

Im SWB und LSB steigt der Plasmacortisolspiegel mindestens ebenso stark an wie im heißen LSB - trotz der nur geringen Kältebelastung. Auch hier zeigt sich kein deutlicher Unterschied zwischen LSB und SWB.

d) Trocken-Kontrollversuch:

Keine deutliche Veränderung.

Eine Darstellung der Absolutwerte findet sich in der Tabelle auf der nächsten Seite.

32°-Bad						36°-Bad						40°-Bad						Kontroll-versuch ohne Wasser		
SWB			LSB			SWB			LSB			SWB			LSB					
vor	nach	ΔC	vor	nach	ΔC	vor	nach	ΔC	vor	nach	ΔC	vor	nach	ΔC	vor	nach	ΔC	vor	nach	ΔC
7,2	15,6	8,4	12,1	17,3	+5,2	11,9	5,3	-6,2	11,5	10,0	-1,5	6,5	8,9	+2,4	8,5	11,7	+2,7	8,6	9,5	+0,9
6,7	16,0	9,3	9,6	19,4	+9,8	9,7	6,1	-3,6	8,9	6,8	-1,9	13,2	11,9	-1,3	7,9	14,1	+5,2	10,3	10,7	+0,4
9,6	16,5	6,9	8,7	18,8	+10,1	13,0	11,3	-1,7	9,2	6,9	-2,3	10,7	11,6	+0,9	13,2	17,1	+3,9	7,8	9,0	+1,2
						18,8	16,5	-2,3	14,8	9,8	-5,0	15,4	16,1	+0,7	11,0	13,8	+2,8	13,4	13,6	+0,2
									15,7	14,4	-1,3				8,9	19,3	+10,4			
									10,3	7,1	-3,2				10,3	16,6	+6,3			
									9,6	8,3	-1,3									

Tabelle der vor und nach den Bädern gemessenen Plasmacortisolwerte (µg/100 ml)

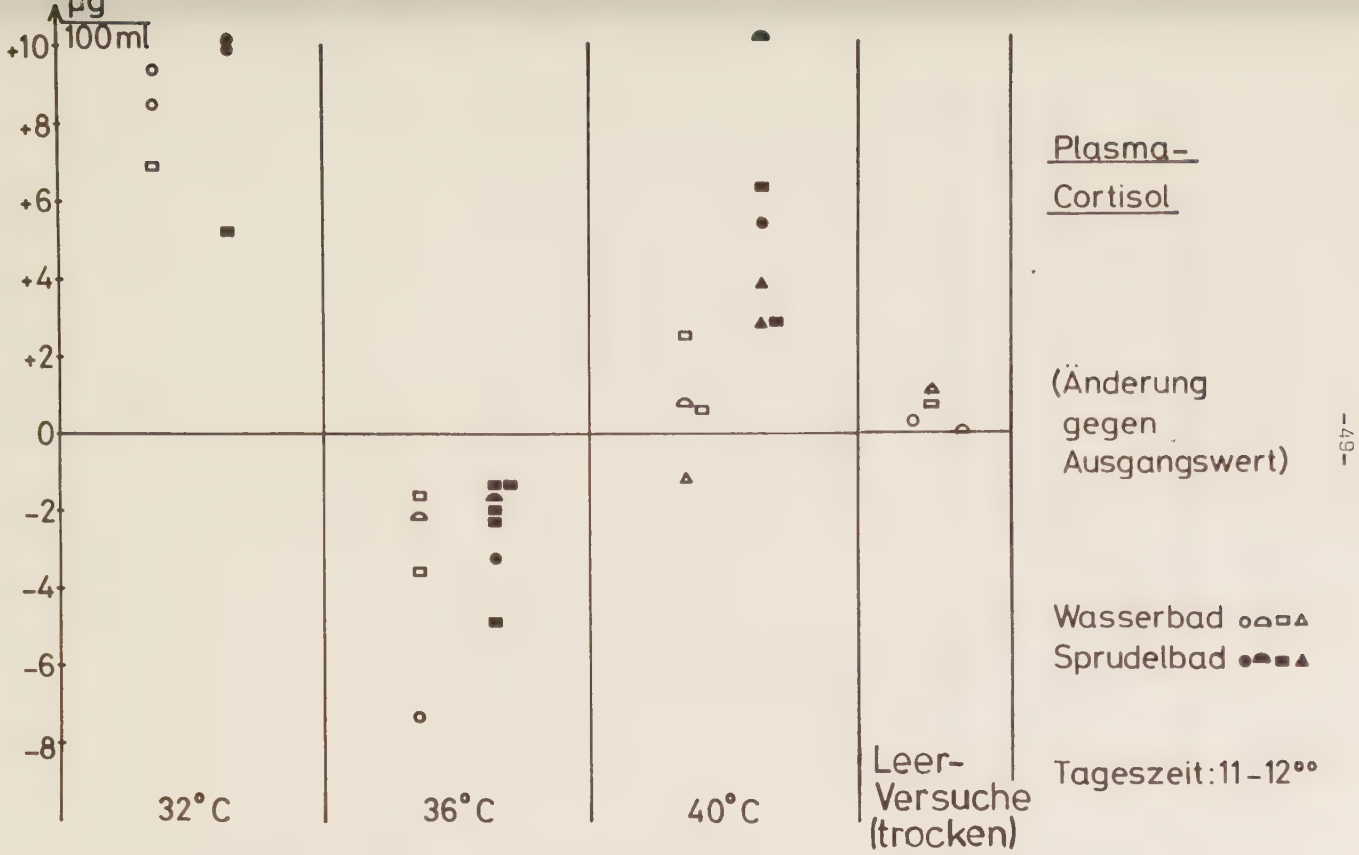


Abb. 15: Änderung gegen Ausgangswert des Plasmacortisols nach dem SWB und nach dem LSB

3.13 SONSTIGE HÄMATOLOGISCHE PARAMETER:

Die vor und nach den Bädern ermittelten Laborwerte für Natrium, Kalium, Gamma-GT, GOT, Triglyceride, Cholesterin, Harnstoff, Harnsäure und Kreatinin waren größtenteils identisch und zeigten - im Rahmen der üblichen Fehlerbreite - nur gelegentlich minimale, in ihrer Richtung jedoch uneinheitliche Unterschiede. Auf eine Darstellung wurde deshalb verzichtet.

3.14 UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE MIT BADEZUSÄTZEN (Abb. 16)

Gaschromatische Untersuchungsergebnisse von RÖMMELT (Veröffentlichung in Vorbereitung) über Badezusätze ergaben, daß im LSB die Resorption über die Atemwege wegen der erhöhten Konzentration für verschiedene Monotherpene in der Einatmungsluft (z.B.: α -Pinen, β -Pinen, α -Phelantren, camphen und Limonen, vorhanden v. a. in Coniferen) an Bedeutung gewinnt.

So fanden sich in einer Höhe von etwa 1o cm über dem LSW während der Badephase 30 - bis 5ofach höhere Konzentrationen als über einem SWB. Konzentrationsbestimmungen im Blutserum der Probanden nach dem LSB ergaben ca. 1Ofach höhere Konzentrationswerte für die leichter siedenden Anteile wie z. B. α - und β -Pinen.

Abb. der rel. Konzentrationen nach Angaben von RÖMMELT

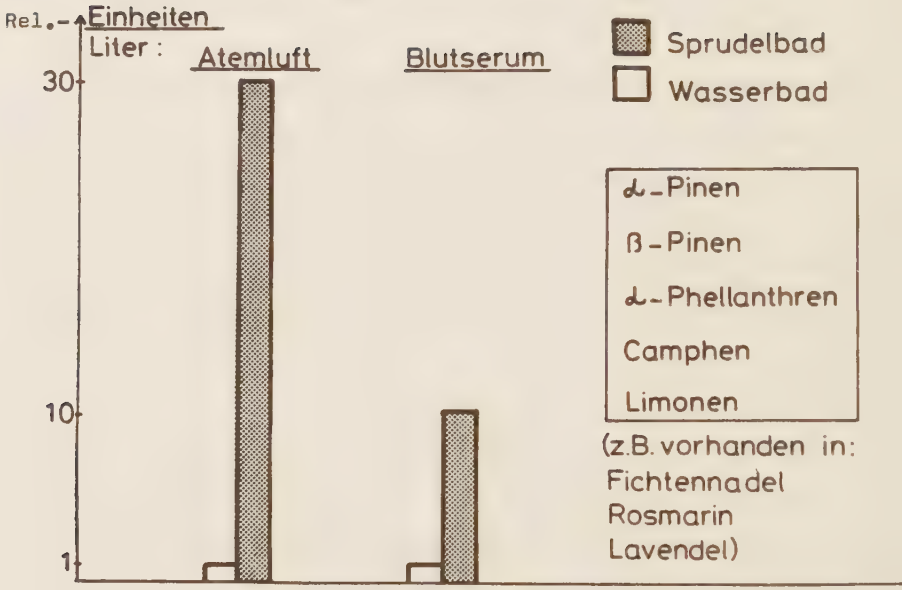


Abb.16: Relative Konzentrationen einiger ätherischer Öle (Sp. 160°- 180°) im SWB und LSB nach Angaben von H. RÖMMELT (Baln. Inst. Mü.)

3.15 TROCKEN-KONTROLLVERSUCHE (Abb. 17) im Vergleich zu den 36°-warmen (indifferenten) Bädern

Um zwischen der Bäderwirkung und der Wirkung durch Ruhe differenzieren zu können, führten wir einige trockene Kontrollversuche durch, die unter identischen Bedingungen wie die Bäder durchgeführt wurden; d.h. auch mit Ein- und Ausheben in die - leere - Wanne. Die Probanden waren leicht zugedeckt und fühlten sich behaglich. Die Rektaltemperatur verlief horizontal.

1. Atemzugvolumen: Abfall um ca. -0,15 l
   Zum Vergleich:
   indifferentes SWB: geringfügiger Abfall um fast -0,1 l
   indifferentes LSB: keine Veränderung
   (Differenz zum SWB signifikant)

2. Atemminutenvolumen: Abfall um ca. -1 l/min
   Zum Vergleich:
   indifferentes SWB: keine Änderung
   indifferentes LSB: Anstieg um ca. + 1 l/min
   (Die Differenz ist signifikant)

3. Atemfrequenz: keine Änderung
   Zum Vergleich:
   indifferentes SWB: Keine Änderung in der Badephase.
   Danach deutlicher Abfall um ca. -2/min.
   indifferentes LSB: Abnahme um -1/min. Kein weiterer Abfall nach dem Bad

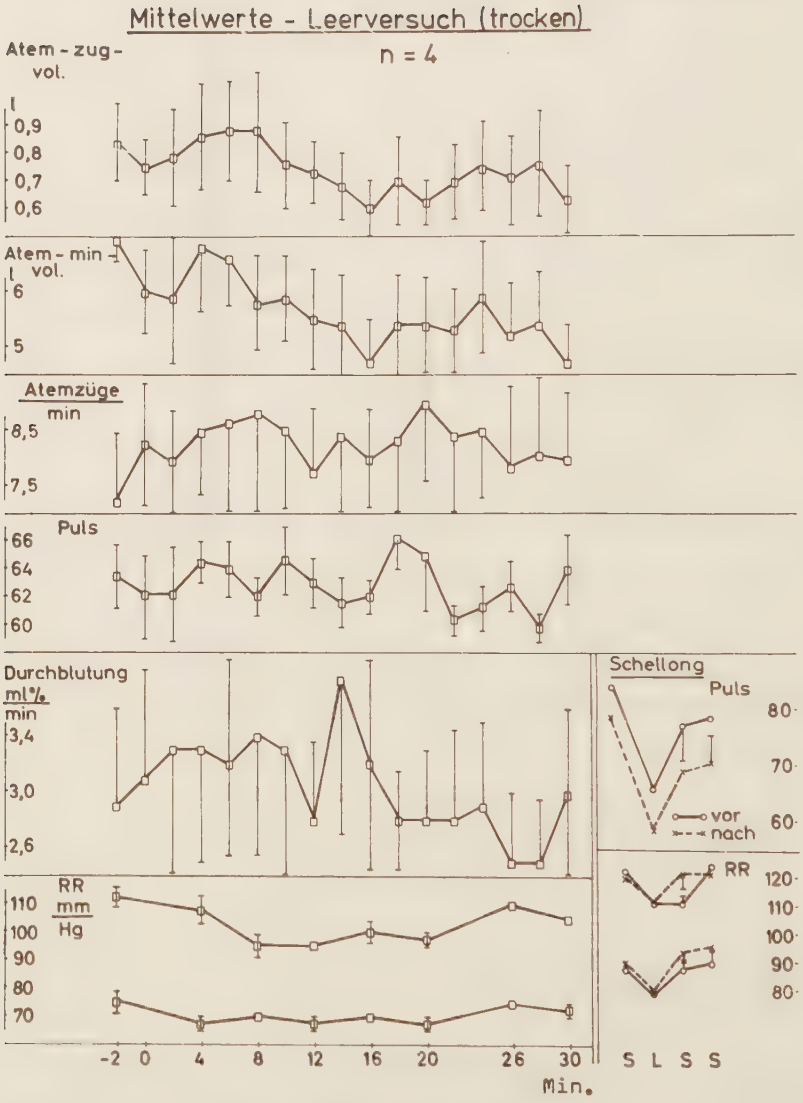


Abb.17: Verlaufskurven im Kontrollversuch ohne Wasser

4. Pulsfrequenz: keine Änderung

Zum Vergleich:

indifferentes SWB: Anstieg um +8/min

indifferentes LSB: Anstieg um +6/min

(Differenz zum SWB signifikant)

5. Durchblutung: Keine Änderung bis geringfügige Abnahme

Zum Vergleich:

indifferentes SWB: initialer Anstieg um +5o %, worauf ein kontinuierlicher Anstieg bis + 125 % folgt. Nach dem Bad rasche Rückkehr zu Ruhewerten.

indifferentes LSB: identische Verlaufskurve wie SWB

6. Blutdruck: Praktisch wie SWB und LSB (s.d.)

7. Schellong-Test:

Puls: wie SWB und LSB (s.d.)

Blutdruck: Der Aufstehwert des systolischen und diastolischen Blutdrucks war nach den Trocken-Kontrollversuchen höher (so hoch wie der erste Stehwert) als davor.(nicht signifikant) D.h., nach der Ruhe durch den Kontrollversuch reguliert sich der Steh-Sollwert schneller wieder ein. Kein signifikanter

Unterschied der übrigen RR-Werte.

Zum Vergleich:

indifferentes SWB: vor und nach dem Bad praktisch identische RR-Werte

indifferentes LSB: wie SWB

8. Hämatologische Parameter: Keine Veränderung (wie SWB und LSB)

9. Plasmacortisol: praktisch keine Änderung

Zum Vergleich:

SWB und LSB: leichte Senkung

4. DISKUSSION

4.1 DISKUSSION EINIGER PARAMETERGRUPPEN

4.1.1 KERNTEMPERATUR

Die Körpertemperaturverläufe in den heißen, indifferenten und kühlen Bädern zeigten eine deutlich stärkere thermische Wirkung der Luftsprudelbäder als der Süßwasserbäder. Offenbar wird der Wärmestromfluß durch die erzwungene Konvektion im Luftsprudelbad erheblich gesteigert.

Nach Messungen von DREXEL (1963) ist die Geschwindigkeit des Wärmeaustausches zwischen badendem Körper und Bademedium (vereinfacht gesprochen: die thermische Wirkung) abhängig von der Größe des Wärmestroms vom Bademedium zum Körper (= Erwärmung) oder vom Körper zum Bademedium (= Abkühlung). In Analogie zum Ohm'schen Gesetz ($I = \frac{U}{R}$) ist die Größe des Wärmestroms ($\hat{=}$) proportional der Temperaturdifferenz: Körper - Bademedium ($\hat{=}$ U) und umgekehrt proportional dem Wärmewiderstand ($\hat{=}$ R). Der Wärmewiderstand setzt sich zusammen aus dem körperinternen Wärmewiderstand - abhängig z.B. von der "Körperschalen" -durchblutung, Unterhautfettschicht - und aus der sogenannten "Grenzschicht" des Bademediums, in der sich ein Temperaturgefälle vom Bademedium zur Haut (32 - 33^{o}) oder umgekehrt aufbaut. Nach DREXEL (1963) beträgt diese Grenzschicht im unbewegten Wasser etwa 1 cm.

Sie wird im Luftsprudelbad durch erzwungene Konvektion weitgehend zerstört. Damit sinkt der (körperexterne) Wärmewiderstand, womit gleichzeitig ein erhöhter Wärmestromfluß (= stärkere thermische Wirkung) im LSB einhergeht. Möglicherweise sind auch körperinterne Wärmewiderstandsänderungen an den beobachteten Temperaturverläufen mitbeteiligt, wenn man davon ausgeht, daß ein Teil der unterschiedlichen Extremitätendurchblutung (s.d.) sich in der Haut abspielt.

Nach PIRLET (1960) wirkt einem stärkeren Abfall der Körperkerntemperatur im kühlen Bad eine entsprechende Steigerung des Stoffwechsels entgegen.

Trotz der stärkeren thermischen Wirkung wird paradoxerweise nach übereinstimmender Aussage aller Probanden das heiße Luftsprudelbad als weniger heiß und das kühle Luftsprudelbad als weniger kühl empfunden (wenn auch das dem CO_2-Bad eigentümliche Wärmegefühl fehlt). Für das Zustandekommen dieser offensichtlichen Herabsetzung der Temperaturempfindlichkeit im Luftsprudelbad lassen sich zwei Theorien diskutieren:

1.) im heißen Luftsprudelbad werden die Kaltrezeptoren mit angeregt, bzw. im kühlen Luftsprudelbad werden die Wärmerezeptoren mit angeregt.

2.) Die Sensibilität der Kälte- und Wärmerezeption gegenüber Temperatureinflüssen wird durch Irritation der Mechanorezeptoren herabgesetzt, via "gate control" (MELZACK u. WALL 1965). In diese Richtung weisen auch

tierexperimentelle Untersuchungen von ZIMMERMANN (1976), der den Zusammenhang von Mechano- und Thermorezeption an Katzen untersucht hat.

Der subjektive Eindruck der herabgesetzten Empfindlichkeit gegen Temperatureinflüsse wird auch gestützt durch objektive Befunde, wie Blutdruck- und Pulsverhalten während und nach dem kühlen Luftsprudelbad zeigen (s.d.)

Im Zusammenhang mit der verkürzten Erwärmungszeit und der offenbar herabgesetzten Temperaturempfindlichkeit birgt dieser Umstand auch eine gewisse Gefahr für die unkontrollierte Anwendung des heißen LSB bei Menschen mit Kollapsneigung und Herz- Kreislauferkrankungen. Ein strenges Temperatur/Zeitregime muß hierfür gefordert werden. Da 38°C Kerntemperatur in der Regel im LSB bereits nach 15 Min. bei 40°C erreicht werden, sollte die Badedauer bei geschwächten Menschen diesen Zeitraum ohne Aufsicht nicht überschreiten.

4.1.2 DURCHBLUTUNG der unteren Extremität

Es wird von einigen Autoren behauptet (s. Abschn. Literatur), das Luftsprudelbad führe durch Massage oder durch taktile Reizung zu einer stärkeren Hautdurchblutung und -rötung. Über die Hautdurchblutung kann keine Aussage gemacht werden, da das Meßprinzip keine Unterscheidung von Haut- und Muskeldurchblutung zuläßt. Insgesamt zeigt sich im heißen und kühlen Luftsprudelbad eine erhöhte Extremitätendurchblutung gegenüber dem Süßwasserbad, jedoch keine sichtbar stärkere Hautrötung (was nicht gegen eine stärkere Hautdurchblutung spricht, da Rötung nur den Füllungszustand anzeigt, aber keine Aussage über die Durchströmung zuläßt).

Für die erhöhte Extremitätendurchblutung kommen vier Mechanismen als Ursache in Frage:

a) Vasodilatation infolge höherer Wärmezufuhr durch erzwungene Konvektion
b) Vasodilatation infolge Tonsminderung durch mechanische Reize (Vibration, taktile Reizung)
c) Erhöhung der Herzleistung infolge thermischer Belastung.
d) Vasodilatation infolge Erhöhung des Bedarfs an Blutvolumen wegen Stoffwechselsteigerung

Im Einzelnen lassen die Ergebnisse in den drei Temperaturbereichen folgende Deutung zu:

36°-Bad:

Infolge der Erwärmung der Hautschichten von 32° auf 36°C kommt es in beiden Bäderarten gleichermaßen zu einer leichten Durchblutungssteigerung. Die Konvektion und Vibration scheint dabei keine Rolle zu spielen.

40°-Bad:

Infolge des wesentlich höheren Wärme - stroms kommt es im Luftsprudelbad zu einer stärkeren Erhöhung von Schalen- und Kerntemperatur, welche sowohl eine Vasodilatation vornehmlich der Hautgefäße (BARCROFT / 1955 /), als auch ein erhöhtes Herzzeitvolumen (s. Amplitudenfrequenzprodukt) zur Folge hat. Beide Komponenten führen zu einer um ca. 19% erhöhten Durchblutung.

32°-Bad:

Für die Interpretation der um 21% höheren Durchblutung im kühlen LSB bieten sich zwei Erklärungsmodelle an.

1.) Nach GOLENHOFEN (1962) könnte die Mehrdurchblutung (und ein erhöhter O_2-Verbrauch) durch eine unmerkliche Muskelaktivierung bedingt sein. Dafür spräche das um 30% erhöhte Atemvolumen, (s.d.) welches Ausdruck einer Stoffwechselsteigerung sein könnte.

2.) Möglicherweise kommt es im SWB durch Kältereiz bereits zu einer leichten Vasokonstriktion, welche durch mechanische Einflüsse (Vibration, taktile Reizung) im Luftsprudelbad verhindert wird. (Herabsetzung der Temperaturempfindung s. S.58) Für diese Annahme spricht auch das Blutdruckverhalten

4.1.3 BLUTDRUCK, BLUTDRUCKAMPLITUDE

Mit dem Anstieg der Durchblutung in den heißen Bädern korreliert ein Absinken vor allem der diastolischen Blutdruckwerte, den schon STRASBURGER (1909) beobachtet hat. Es kann hier selbstverständlich keine lineare Abhängigkeit erwartet werden, da die Blutdruckregulation über ein erhöhtes Herzzeitvolumen (s.u.) einem zu starken Blutdruckabfall entgegenwirkt. Von der 8. Bademinute bis zum Ende der Bäder steigt sogar der systolische Blutdruck wieder bis auf den Ausgangswert an (als Ausdruck einer steten Zunahme des Herzzeitvolumens), während der diastolische Blutdruck (als Ausdruck der peripheren Widerstandssenkung) weiter sinkt (HORNBACHER 1967, AMELUNG u. EVERS 1962 u.a.). Daraus resultiert ein steter Anstieg der Blutdruckamplitude während der thermischen Belastung. In Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen fanden WETZLER u. THAUER (1943), daß "die Blutdruckamplitude bei höheren Temperaturen stärker ansteigt, als es dem Abfall des diastolischen Druckes entspricht, weil jetzt auch der systolische Druck ansteigt." Somit erklärt sich der signifikant stärkere Anstieg der Blutdruckamplitude im heißen Luftsprudelbad durch die stärkere thermische Belastung.

Bei den kühlen Luftsprudelbädern zeigt sich eine interessante Parallele zu einem Blutdruckphänomen beim CO_2-Bad, das HENTSCHEL (1962) gefunden hat: Der gegenüber dem SWB stärkere Blutdruckabfall im LSB, dem ein stärkerer Blut-

druckanstieg 15 Min. nach dem Bad folgt. Gleichzeitig besteht eine deutliche Korrelation des systolischen und eine angedeutete des diastolischen Blutdrucks mit der Extremitätendurchblutung im Bad.

So konnte auch HENTSCHEL (1962) bei einem Vergleich 35°-warmer Kohlensäure- und Süßwasserbäder beobachten, daß sowohl die systolischen als auch die diastolischen Blutdruckwerte bei beiden Bäderarten abzusinken pflegen. Während aber der Blutdruck bei den Süßwasserbädern nur sehr gering abfällt, ist der blutdrucksenkende Effekt bei den Kohlensäurebädern wesentlich ausgeprägter. Unmittelbar nach Abschluß des CO_2-Bades wird ein stärkerer Anstieg des arteriellen Blutdrucks beobachtet, der systolisch im Schnitt 10 - 20, diastolisch 10 mm Hg beträgt. Wie spätere Untersuchungen von HENTSCHEL (1966)zeigen, korreliert dieses Blutdruckverhalten im CO_2-Bad eng mit der Hautdurchblutung.

Um diesem Phänomen in Bezug auf die Luftsprudelbäder gerecht zu werden, möchte ich kurz die übereinstimmenden und unterschiedlichen Untersuchungsergebnisse von Kohlensäure-, Luftsprudel- und Süßwasserbad zusammenfassen:

- sowohl das kühle LSB wie das CO_2-Bad senken den Blutdruck (hier: systolischer deutlicher als diastolischer) im Bad stärker als das gleichtemperierte SWB.
- sowohl nach dem kühlen LSB wie nach dem CO_2-Bad steigt der Blutdruck (hier: systolischer deutlicher als diastolischer) wesentlich stärker an als nach dem gleichtem-

perierten SWB, sodaß er jetzt sogar höher liegt als nach dem SWB.

- Bei den CO_2-Bädern ist dieses Phänomen schon im indifferenten Bereich (35°C) zu beobachten, während es beim LSB erst bei den kühlen Bädern auftritt - es zeigt sich bei den indifferenten Bädern kein unterschiedliches Blutdruckverhalten von LSB und SWB (und auch keine unterschiedliche Extremitätendurchblutung).
- Der Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdrucks nach dem CO_2-Bad erfolgt schnell nach 2 - 4 Minuten und fällt auch ebenso rasch (5 Min. nach dem Bad) wieder auf den Wert vor dem Bad zurück. Dagegen wird ein deutlicher Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdrucks erst 15 Min. nach dem LSB (beim Schellong-Test) beobachtet, der immerhin für die Dauer des Tests anhält. Der weitere Blutdruckverlauf wurde nicht beobachtet.
- Zumindest beim CO_2-Bad ist eine enge Korrelation von Hautdurchblutung und Blutdruckverhalten erwiesen, welche gut zu der von uns gefundenen Korrelation des Blutdruckverhaltens mit der Extremitätendurchblutung paßt.

Zusammen mit den bei der Durchblutung diskutierten Befunden ergeben diese Befunde folgendes Bild:

- Die Kohlensäure bewirkt auf chemischem Weg eine lokale Vasodilatation (Hautrötung), die nach Fortfall des chemischen Reizes nach dem Bad eine rasche, kräftige und kurzfristige lokale Vasokonstriktion der Hautgefäße (Hautblässe) zur Folge hat (HENTSCHEL 1966). Deshalb zeigen sich die genannten Blutdruckphänomene schon

beim indifferenten Bad, als Ausdruck dieser Gefäßreaktionen.

- Der Luftsprudel verhindert im kühlen Bad infolge mechanischer Einflüsse (Vibration, taktile Reizung) eine thermoregulatorisch bedingte Vasokonstriktion. Erst nach dem Bad, nach Fortfall der mechanisch bedingten Irritation, erfolgt eine Reaktion auf den stattgehabten stärkeren Wärmeentzug im LSB durch Vasokonstriktion, die im Anstieg der systolischen und diastolischen Blutdruckwerte zum Ausdruck kommt (s.S. 58 und Kap. PULSFR.)
  Deshalb treten auch die genannten Blutdruck- und Durchblutungsphänomene im indifferenten Bademilieu nicht auf, da hier noch keine Vasokonstriktion erfolgt.

Es handelt sich also beim CO_2-Bad um eine chemisch bedingte Lokalreaktion der Hautgefäße und beim kühlen Luftsprudelbad offenbar um mechanische Einflüsse auf die Thermorezeption und damit auf die thermoregulatorisch bedingte Gefäßreaktion, die sich erst sekundär im Blutdruck-, Durchblutungs- (und Pulsverhalten s.d.) ausdrücken.

4.1.4 SCHELLONG-TEST

Die Blutdruckregulation wird - bei jungen kreislaufgesunden Personen - durch die Bäder nicht beeinflußt. Lediglich nach dem kühlen Luftsprudelbad findet sie auf einem um +5 - +8 mm Hg erhöhtem Niveau statt. (Im Gegensatz zur Badephase s.4.1.3)

Dabei ist gleichzeitig der Puls um ca.-10 - 15 Schläge/Min. nach den Bädern gesenkt (am deutlichsten nach den kühlen Bädern) - von den heißen Bädern abgesehen. Da dies auch nach den trockenen Kontrollversuchen zu beobachten ist, liegt diesem Pulsverhalten wohl eine Ökonomisierung des Kreislaufs zugrunde, infolge Erholung während der etwa einhalbstündigen Ruhezeit. Diese wird durch die thermische Kreislaufbelastung bei den heißen Bädern aufgehoben.

Merkwürdigerweise ist der Aufstehwert des systolischen und diastolischen Blutdrucks nach den Kontrollversuchen ohne Wasser höher (so hoch wie der erste Stehwert) als davor (nicht signifikant). Demnach würde sich der Steh-Sollwert nach der Ruhe durch den Kontrollversuch schneller wieder einregulieren. Da aber vor den Bädern eine ebenso schnelle Einregulierung des Sollwertes beim Aufstehen erfolgt wie nach dem Kontrollversuch, ist das RR-Verhalten beim Aufstehen vor den Kontrollversuchen wohl als eine zufällige Spielvariante zu interpretieren.

4.1.5 PULSFREQUENZ

Übereinstimmend wird eine nahezu lineare Abhängigkeit der Herzfrequenz von der Körpertemperatur beschrieben (SCHARNER u. SPITZBART 1972; KÖHL, DIRNAGL u. DREXEL 1961; WETZLER u. THAUER 1943 u.a.).
Im einzelnen werden die Unterschiede wie folgt beurteilt:

40°-Bad:
Wegen der höheren thermischen Belastung und der damit verbundenen erhöhten Körpertemperatur im LSB ist ein Vergleich der Pulsfrequenz in beiden Bädern schwierig. Trotz eines im Mittel um+5 Schläge/min. erhöhten Pulses, als Ausdruck der größeren thermischen Wirkung im LSB, sprechen einige Momente für einen zusätzlich senkenden Einfluß des LSB auf die Pulsfrequenz.

Möglicherweise zeigt sich der senkende Einfluß, wenn man den Puls als eine von der Körpertemperatur abhängige Größe betrachtet. Die Abb.18 zeigt ein Diagramm der Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der Körpertemperatur bei großen Versuchskollektiven i n einfachen Überwärmungsbädern (Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung von H. DREXEL, Bahn. Inst. München). Vom Verfasser wurden nachträglich Hilfslinien eingezeichnet, welche die relevanten Körpertemperaturen im SWB und LSB markieren. Nach diesem Diagramm wäre zu Beginn der Badephase eine mittlere Pulsfrequenz von etwa 82/min. (gegenüber 70/min. = erster Meßwert i m SWB und LSB) zu erwarten.

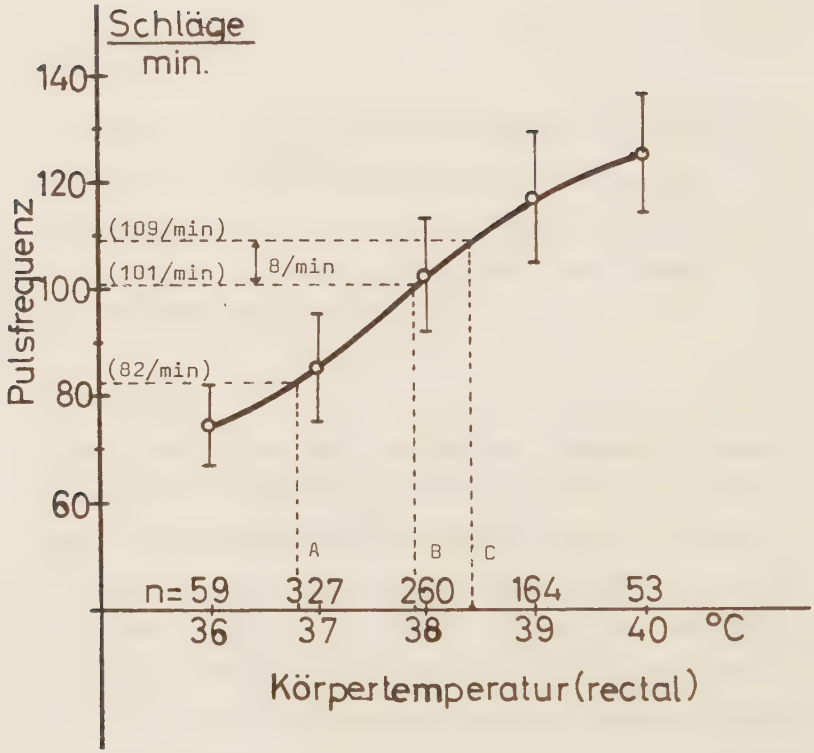


Abb. 18: Das Diagramm zeigt die Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der Körpertemperatur bei großen Versuchskollektiven im einfachen Überwärmungsbädern (Veröffentlichung mit freundlicher Genehmigung von H.DREXEL, Baln. Inst. Mü.) Vom Verfasser wurden nachträglich Hilfslinien eingezeichnet, welche die relevanten Körpertemperaturen im SWB und LSB markieren.
Nach diesem Diagramm wäre zu Beginn der Badephase eine mittlere Pulsfrequenz von etwa 82/min. (gegenüber 70/min = erster Meßwert im SWB und LSB) zu erwarten (heterogeneres Probandenkollektiv? andere methodische Unterschiede?).
Am Ende des SWB stellt sich jedoch der gleiche Pulswert (101/min) ein, wie nach dem Diagramm zu erwarten. Die mittlere Pulsfrequenz am Ende des LSB (=105/min.) ist dagegen deutlich niedriger als nach dem Diagramm zu erwarten (109/min).
Zeichenerklärung: A = Ausgangstemperatur im SWB und LSB
B = Temperatur am Ende des SWB
C = Temperatur Am Ende des LSB

(Vermutlich liegt der verschiedenen Ausgangssituation des Diagramms ein heterogeneres Probandenkollektiv und andere methodische Unterschiede am Badebeginn zugrunde). Am Ende des SWB stellt sich jedoch der gleiche Pulswert (101/min.) ein, wie nach dem Diagramm zu erwarten. Dagegen ist die mittlere Pulsfrequenz am Ende des LSB mit 105/min. um 3 - 4 Schläge/min. niedriger, als nach dem Diagramm zu erwarten (109/min.). Nach dem Diagramm müßte die mittlere Differenz zwischen SWB und LSB 8 Schläge/min. betragen, tatsächlich zeigt sich aber nur eine mittlere Differenz von 5 Schlägen/min.

Zu dem gleichen Ergebnis gelangt man, vergleicht man jene Pulsfrequenzen, die in beiden Bädern bei g l e i c h e r Körpertemperatur gemessen werden. So wird im LSB bereits nach etwa 16,5 Min. Badedauer die gleiche Körpertemperatur wie am Ende des SWB erreicht (s.Abb. 3).
Zu diesem Zeitpunkt beträgt der Puls im LSB etwa 98 Schläge/min. gegenüber 101 Schlägen/min. am Ende des SWB. Auch hier zeigt sich also eine Senkung der Pulsfrequenz um -3 Schläge/min. im LSB.

Ein weiterer Hinweis für den pulssenkenden Einfluß des Luftsprudels ist auch der Pulsverlauf nach den Bädern. Hier vergrößert sich die Differenz bis auf +11 Schläge/min., als Ausdruck des Fortfalls der pulssenkenden Wirkung der Besprudelung.

Zusammenfassend sprechen diese Befunde für eine Interaktion zweier Wirkungskomponenten des Luftsprudelbades. Die thermische Wirkungskomponente führt zu erhöhter Schlagfolge, welche durch die mechanische Wirkungskomponente herabgemindert wird.

36^{o}-Bad:
Am augenfälligsten zeigt sich der pulssenkende Einfluß der Besprudelung in den indifferenten Bädern. Hier ist die Pulsfrequenzsteigerung im LSB um ca. 30% niedriger als im SWB, obwohl im "indifferenten" LSB bereits ein erhöhter Wärmeeinstrom nachweisbar ist (s. 4.1.1), der den Puls eher beschleunigen müßte.

32^{o}-Bad:
In den kühlen Bädern ist die Herzfrequenz nahezu identisch, obwohl die Extremitätendurchblutung im LSB gegenüber dem SWB leicht angehoben ist. Offenbar wirkt sich der pulssenkende Effekt durch die Vibrationen im Luftsprudelbad nicht innerhalb der Ruhefrequenz aus (ähnliches gilt auch bei den anderen, bereits besprochenen Kreislaufparametern), sondern lediglich die wärmebedingte Steigerung des Sympathikustonus wird durch eine vagotone Gegenregulation reduziert.

Andererseits läßt der rasche Pulsabfall um etwa 3 Schläge/min. nach dem kühlen LSB den Schluß zu, daß der ebenfalls pulssenkende Effekt des relativ stärkeren Wärmeentzugs im LSB infolge mechanischer Irritation der Temperaturempfindung verhindert wird, und erst nach dessen Fortfall zum Tragen kommt (s.a.S. 65).

4.1.6 AMPLITUDENFREQUENZPRODUKT (AFP)

36°-Bad:
Im indifferenten Luftsprudel- und Süßwasserbad zeigen sich keine wesentlichen Veränderungen des AFP (als Näherungswert für das Herzzeitvolumen), worin sich die geringe Belastung durch dieselben ausdrückt.

40°-Bad:
Entsprechend der Van't HOFF'schen RGT-(Reaktions-Geschwindigkeit-Temperatur)-Regel ist der steilere Anstieg des Herzzeitvolumens in den heißen Luftsprudelbädern Ausdruck eines erhöhten Stoffwechsel infolge höherer thermischer Belastung und korreliert mit einem stärkeren Anstieg der peripheren Durchblutung, den ich bereits als thermischen Effekt interpretiert habe.

32°-Bad:
Abgesehen von einer auffälligen, nur schwer interpretierbaren initialen Erhöhung im LSB, zeigen sich in den kühlen Bädern keine Unterschiede des Herzzeitvolumens, welches im Schnitt um etwa 20% gegenüber dem Ausgangswert gesenkt ist. Dies könnte - entsprechend der RGT-Regel - Ausdruck eines geringeren Sauerstoffbedarfs sein, bei nicht ausgeprägter Kältegegenregulation.

Wenn auch dieser Befund zunächst nur schwer mit GOLENHOFENS (1962) Interpretation der höheren Extremitätendurchblutung (s.S.61) und dem wesentlich größeren Atemminutenvolumen im LSB (s.d.) in Einklang

zu bringen ist, so liegen doch diese Parameter in der weiteren Badephase nur unwesentlich über dem Ruhewert.

Möglicherweise löst auch der Luftsprudel zu Beginn des Bades ein komplexes reflektorisches Geschehen aus - im Sinne einer quasi vorbeugenden Kältegegenregulation - um durch den initial sprunghaften Anstieg des Herzzeitvolumens und des Atemminutenvolumens (s.d.; HECKMANN et al. 1980) ein "Sauerstoffguthaben" im Gewebe zu erzeugen. Bei grober Bilanzierung würde dies die etwas widersprüchlich erscheinenden Befunde in Einklang bringen.

Das nach dem kühlen LSB gegenüber dem SWB reduzierte AFP beruht wohl z.T. auf dem plötzlichen Abfall der Herzfrequenz nach dem Bad (s.S. 70).

4.1.7 RESPIRATORISCHE GRÖSSEN (AMV, AF, AZV)

Nach AMELUNG u. EVERS (1962) findet in den indifferenten Bädern eine "reflektorisch ausgelöste Steigerung des Atemvolumens statt, die im weiteren Verlauf in Abnahmen übergehen." Außerdem sei eine mäßige Steigerung des Atemvolumens durch Überwindung des Auftriebs gegeben. Dagegen vertritt JUNGMANN (1969) die Auffassung, daß in der Jugend das Atemminutenvolumen trotz verschobener Atemmittellage kaum beeinflußt wird.
Unsere Meßergebnisse zeigen für das indifferente Süßwasserbad eine angedeutete Steigerung des Atemminutenvolumens in der Initialphase, danach kommt es zu einer leichten Senkung unter den Ausgangswert. Da sich - abgesehen von der initialen Steigerung - ein solches Absinken auch in unseren Trocken-Kontrollversuchen zeigt, muß dies wohl als Ausdruck einer Sedierung durch die Ruhelagerung interpretiert werden.

Verglichen mit dem SWB, kommt es beim LSB in allen Temperaturbereichen zu einer deutlichen Steigerung des AMV und zu einer relativen Senkung der Atemfrequenz. Die Ursachen hierfür sind wahrscheinlich komplexer Natur:

Der erhöhte Wärmeeinstrom im 40°-Bad, welcher eine zunehmende, zusätzliche Kreislaufbelastung darstellt, führt offenbar auch zu einem analog erhöhten Sauerstoffbedarf. Es handelt sich also um eine Wirkung, die

sich scheinbar zwanglos aus der erzwungenen Konvektion ableiten läßt. Es fällt jedoch auf, daß das AMV bereits anfangs im 40^0-LSB um ca. 1 l/min. angehoben ist gegenüber dem SWB. Entweder spielt hierbei die periphere Wärmeempfindung bereits eine Rolle, die den Effekt erklärt, oder es handelt sich um die Wirkung eines zusätzlichen Faktors, nämlich der Reizung der Mechanorezeptoren.

Für diese Vermutung spricht, daß im thermoindifferenten Bad die LSB-Werte für die gesamte Badedauer ebenfalls um diesen Betrag angehoben sind. HECKMANN et al. (1980) sahen im thermoindifferenten Bad eine spontane Steigerung der O_2-Aufnahme um ca. +20%, welche auf etwa +5% im weiteren Verlauf abfiel. Der minimal erhöhte Wärmeeinstrom im 36^0-LSB kann hierfür und für die von uns gefundene AMV-Erhöhung wohl kaum die Ursache sein, sie ist also in der "mechanischen Komponente" des LSB zu suchen.
HECKMANN et al. vermuteten im LSB eine "starke sympathikotone Reizwirkung", wohl ebenfalls durch die "mechanische Komponente", da die Autoren außerdem eine Erhöhung der Pulsfrequenz beim Einschalten des Luftsprudels beobachten (man beachte die wesentlich anderen Versuchsbedingungen der genannten Autoren). Unsere Ergebnisse lassen diese Deutung allerdings nicht zu. Vielmehr deutet die Erhöhung des AMV in Verbindung mit einer Senkung der ATEMFREQUENZ (bei 36^0C), woraus insgesamt eine ausgeprägte Steigerung der

ATEMTIEFE resultiert, im Zusammenhang mit der von uns beobachteten relativen Senkung der Pulsfrequenz auf eine vagoton-sedierende Wirkung des LSB hin (die auch bei unseren Trocken-Kontrollversuchen nicht beobachtet werden kann).
Am deutlichsten wird dieser Effekt im kühlen LSB: hier ist beispielsweise das AZV - vermutlich durch das Zusammenspiel des thermischen und des mechanischen Reizes - um ca. 45% im LSB erhöht. Daß es sich bei dieser Erhöhung ausschließlich um einen stoffwechselbedingten spontanen Mehrbedarf an O_2 (s.a.S.61 u.72) handelt, halte ich für unwahrscheinlich. Vermutlich handelt es sich - zumindest im 36°- und im 32°-Bad um ein vorwiegend reflektorisches Geschehen, vergleichbar mit der sprunghaft vergrößerten Atemtiefe unter einer kalten Dusche, bei der Kälte und mechanische Faktoren zusammenwirken.

Bei einer Überprüfung der Zusammenhänge zwischen Grundumsatz und Atemminutenvolumen kommt DREXEL (1963) zu der Feststellung, "daß sich keine lineare Regression einstellt, sondern bei großem Atemvolumen der Umsatz relativ zurückbleibt."

4.1.8 PLASMACORTISOL

1950 verfaßte SELYE seine Konzeption vom "Allgemeinen Adaptationssyndrom". Danach "paßt sich der Organismus äußeren physikalischen Einwirkungen, z.B. Abkühlungen oder Verbrennungen, auch chemischen Einflüssen in einer Weise an, daß von dem durch einen äußeren Reiz getroffenen Organ - hier: thermisch gereizte Haut - Impulse zur Hypophyse laufen. Von hier aus wird durch ACTH-Ausschüttung die Nebennierenrinde zu vermehrter Hormongabe angeregt, womit ein wesentlicher Beitrag zur Abwehr der sogenannten Störung bzw. Heilung geleistet wird" (Adaptationssyndrom).

Nachdem SELYE bei Tieren das endokrine Adaptationsgeschehen für sehr starke, Gewebsschäden verursachende, Kälte- und Wärmereize gefunden hat, gab es in der Folgezeit zahlreiche Versuche, die empirisch immer wieder bestätigte antiphlogistische Wirkung physikalisch-therapeutischer Verfahren als eine Wirkung erhöhter Cortisolausschüttung im Rahmen dieses Geschehens nachzuweisen. Es sei vorweggenommen, daß die Ergebnisse unbefriedigend und z.T. widersprechend waren. Der Grund liegt dafür z.T. darin, daß die bislang angewandten Meßverfahren zu grob und unspezifisch waren, um ein kurzbefristetes Adaptionsgeschehen auf realtiv schwache physiologische Reize zu erfassen.

So fanden zahlreiche Untersucher (FÄHNDRICH 1953, DE PAP 1955 u. 1956, FELLINGER 1954, KÜHNAU 1952, OTT, M. (1950), SAN ROMAN u. MITARB. 1953, unter Wärmeanwendung ein Absinken der eosinophilen Leukocyten, die sie nach der von THORN u. MITARB. (1948) gefundenen Gesetzmäßigkeit als Hypophysen- Nebennierenstimulierung deuteten. Andere Untersucher können aus ihren Beobachtungen über die Leukozytenbewegungen während oder im Anschluß an Wärmebehandlungen keine sicheren Schlüsse auf eine innersekretorische Stimulierung der Nebennierenrinde ziehen (WENZEL 1950 u. 52, PARADE 1953, SAITO et al. 1956, HOFFMANN u. KAMM 1960, WIEDEMANN 1958)

Auch Messungen der 17-Ketosteroide im 24-Std.-Urin brachten keine einheitlichen Ergebnisse. Nach verschiedenen Wärmeanwendungen fanden PEKARINEN u. KINUNEN (1951) DE PAP (1956), OTT, M. (1950), HAUS (1957), SCHIBATA (1960), SALVINI u. BONINO (1950) einen Anstieg der 17-Ketosteroidausscheidung. JANKOWIAK (1955), MILCU et al. (1967) VIVARIO et al. (1967), WIEDEMANN (1957) fanden dagegen schwankende Werte.

Die folgenden Untersuchungen waren von größerer Spezifität. So fanden RICHARDS u. EGDAHL (1956) nach heißen Bädern einen Anstieg der 17-Hydroxysteroide im Plasma mit darauffolgendem Absinken, wobei nach Hypophysektomie bei Hunden selbst bei Temperaturen von 50°C kein Anstieg der 17-Hydroxysteroide ausgelöst werden konnte. Mit chromatographischen Methoden verfolgte WIEDEMANN

(1959) die Cortisonausscheidung durch die Nieren unter Behandlungsserien mit Überwärmungsbädern und Wärmepackungen und fand dabei große Schwankungen, die von Normalschwankungen nicht sicher zu unterscheiden waren. Möglicherweise reicht aber die von SELYE gefundene Streßformel als Erklärung für die Wirkung physikalisch-therapeutischer Maßnahmen nicht aus. So nimmt SAYERS (1950) aufgrund seiner Untersuchungen bei der Polyarthritis eine veränderte (geringere) Empfindlichkeit des peripheren Gewebes gegenüber Nebennierenrindenhormonen an. FELLINGER (1954) greift diesen Gedanken auf und glaubt, daß die Behandlungserfolge in der physikalischen Medizin bei Polyarthritis auf einer "deblockierenden" Wirkung auf das Gewebe beruhen, wodurch das Gewebe für die körpereigenen Nebennierenhormone empfindlicher werde. BALAZ et al. (1965) haben sodann ihre Versuchsergebnisse dahingehend gedeutet, daß mit der Anzahl der hyperthermalen Bäder die Sensibilisierung und infolgedessen eine bessere Utilisation der Corticoide in der Peripherie mit der Anzahl der hyperthermalen Bäder ansteigt, während die Nebennierenrinde selbst auf die einzelnen Therapiereize zweiphasig reagiert, indem sie in den ersten zwei Stunden einen Anstieg der hormonellen Funktion zeigt, dem beginnend mit der dritten Stunde, ein Absinken der Leistung folgt.

Unsere Meßergebnisse zeigen folgendes Bild:

Trotz relativ starker Wärmebelastung ist im Anschluß an das SWB keine eindeutige Steigerung des Cortisols nachweisbar. Lediglich nach dem LSB zeichnet sich eine leichte Anhebung des Spiegels ab.
Das Ergebnis könnte dahingehend verstanden werden, daß 40°-Bäder keine Wirkung auf den Cortisolspiegel haben. Weiterführende Arbeiten von KRÖLING u. WENGNER (1979) haben jedoch aufgezeigt, daß die Reaktion biphaschisch verläuft:
zunächst fällt der Cortisolspiegel um rund 20% ab, erreicht am Ende des Bades seinen Ausgangswert und steigt innerhalb der nächsten 40 Minuten auf ca. 140% des Ausgangswertes an. Zu praktisch dem gleichen Ergebnis führten Bestimmungen des Plasma-cortisols (mittels einer leicht modifizierten Methode der "kompetitiven Proteinbindung" nach MURPHY) vor, während und nach Überwärmungsbädern (GÜNTHER et al. 1978).
Möglicherweise kommt es zunächst zu einem erhöhten Verbrauch, der den Spiegel senkt. In Abhängigkeit von der Größe der thermischen Belastung kommt es dann über eine erhöhte ACTH-Sekretion (ROSAK et al. 1980) zu einer kräftigen Stimulierung der Nebennierenrinde. Da die Aufheizung im LSB rascher und intensiver ist, läßt sich die Erhöhung z.T. hier schon am Badende nachweisen.

Im indifferenten Bad sinken die Cortisolwerte leicht ab. Nach den Untersuchungen von KRÖLING u. WENGNER ist dies als ein Zeichen der Ruhigstellung ohne thermische Belastung zu deuten, da KRÖLING u. WENGNER denselben Effekt auch bei Kontrollversuchen ohne Wasser beobachten.

Das schwach kühle Bad hebt diesen Effekt offenbar auf, bzw. es kommt zueinem leichten, spontanen Anstieg der Werte, wie dies auch KRÖLING u. WENGNER beobachteten.

Ausschlaggebend für die Nebennierenrinden-Reaktion scheint insgesamt gesehen nur die thermische Belastung zu sein. Wirkungen, welche auf mechanisch bedingte Einflüsse zurückzuführen sind, konnten wir nicht beobachten.

4.2 GESAMTBETRACHTUNG

Zwischen dem Süßwasserbad und dem Luftsprudelbad konnten einige deutliche Unterschiede in ihrer Auswirkung auf den menschlichen Organismus gefunden werden. Die Wirkung des Luftsprudelbades läßt sich in zwei Wirkungsanteile aufgliedern:

a) erzwungene Konvektion: hierdurch wird der Wärmeaustausch zwischen Bademedium und Organismus wesentlich beschleunigt. Wir sprechen auch von einer "thermischen Wirkung" des Luftsprudelbades.

b) Vibration: diese entsteht zwangsläufig bei der Begasung mit hohem Luftdurchsatz. Wie unsere Messungen zeigten, können die Vibrationen bis tief in das Körperinnere eindringen und die Mechanorezeptoren in der Haut und in den Muskelschichten erregen. Wir sprechen vereinfachend von einer "mechanischen Wirkung" des Luftsprudelbades.

Der mechanische Wirkungsanteil läßt sich nochmals in zwei Komponenten unterteilen:

1. Durch die kochende Bewegung des Wassers im Luftsprudelbad greift eine Art Vibrationsmassage direkt an der Skelettmuskulatur an, und setzt ihren Tonus herab. Nach KOHLRAUSCH (1971) kann durch eine apparative Massageanwendung die Muskulatur in Schwingung versetzt werden, wodurch die Verspannungen großer Muskelgruppen detonisiert werden. Durch intrarektale Druckmessung konnten wir feststellen, daß

bei Besprudelung auch im Körperinnern Vibrationen zwischen 5 und 20 Hz auftreten. In diesem Bereich haben nach KOHLRAUSCH (1971) Vibrationsmassagen ihre günstigste Wirkung.

2. Die aufsteigenden Luftblasen erregen einen Großteil der Tastsinnesorgane der Haut, vor allem die Mechanorezeptoren der Körperhaare (taktile Reizung). Dies führt über schnelleitende Afferenzen zu einem erheblichen Reizstrom ins ZNS, welcher einerseits über "gate-control"-Mechanismen (MELZACK u. WALL 1965) die Reizverarbeitung langsamer leitender Afferenzen hemmen (z.B. Schmerz-, Temperaturempfindung), andererseits zu Pegelveränderungen vegetativer Größen (Puls, RR, Atmung) führen könnte. JÄNIG (1975) fand nach Reizung der Haarfollikelrezeptoren eine Erhöhung der Muskeldurchblutung, bei gleichzeitiger Abnahme der Hautdurchblutung; und nach Reizung der Pacini- (Vibrations-) Rezeptoren eine verstärkte reflektorische Aktivität der Schweißdrüsen. Man kann daher den Einfluß mechanosensitiver Strukturen auf vegetative Zentren als erwiesen betrachten. ZIMMERMANN (1976) konnte durch direkte Ableitung an Rückenmarksneuronen der Katze nachweisen, daß die Entladungsrate, die ein definierter Wärmereiz erzeugt, während und nach repetitiv elektrischer Reizung der mechanosensitiven A-Fasern wesentlich geringer ist - daß also die Wärme nicht mehr so stark empfunden wird. Das entspricht auch den Äußerungen unserer Versuchspersonen, welche das heiße Luftsprudelbad als weniger heiß und das kühle Luftsprudelbad als weniger kühl im Vergleich zum Süßwasserbad empfanden.

Die möglichen Wirkungen auf den Tonus der Muskulatur konnten in unserer Versuchsanordnung leider nicht erfaßt werden und müssen späteren Untersuchungen vorgehalten bleiben.

Die von uns erfaßten Größen: Pulsfrequenz, Blutdruck und Atmung weisen jedoch schon in befriedigendem Maße auf die physiologische Bedeutung des "mechanischen" Wirkungsanteils an der Gesamtwirkung des Luftsprudelbades hin.

Der "thermische" Wirkungsanteil äußert sich in beschleunigten Änderungen der Kerntemperatur mit ihren bekannten Auswirkungen auf Herzleistung, Durchblutung, Pulsbeschleunigung etc..

Teilweise addieren sich beide Komponenten in ihrer Wirkung, wie z.B. bei der maximal vertieften Atmung im kühlen LSB; teilweise wird auch ein Effekt durch den anderen reduziert, wie z.B. die Pulsbeschleunigung im heißen Luftsprudelbad.

Es bleibt die Frage zu diskutieren, ob die thermische Wirkung des LSB durch entsprechend heißere bzw. kühlere SWB zu imitieren wäre. Heißere und kühlere Badewassertemperaturen würden aber eine stärkere Belastung des Hautorgans bedeuten. Wegen der Erniedrigung des Wärmewiderstands (sowohl des externen und wahrscheinlich auch des internen) gegen den Wärmestrom kommt es

bereits bei Badetemperaturen nahe dem Indifferenzbereich zu einer schnelleren und subjektiv angenehmeren Wärmeaufladung, bzw. -entladung des Körperkerns als im vergleichbaren SWB, wodurch die Dauer der Hyper- bzw. Hypothermie verkürzt werden kann. Ferner wird die subjektive Empfindung der thermischen Belastung herabgesetzt. DREXEL (1963) schließt aus the matisch ähnlichen Untersuchungen "daß der Versuch, thermische Äquivalenzbedingungen zwischen verschiedenen Bäderarten aufzustellen, jeden praktischen Wert verliert, wenn man die Ausbildung der zeitabhängigen Oberflächen- und Tiefenverläufe der Temperaturfelder berücksichtigt". Man muß daraus schließen, daß die thermische Wirkung des LSB nicht ohne weiteres durch ein SWB mit veränderter Temperatur zu imitieren ist.

Der Umstand der stärkeren thermischen Wirkung des LSB birgt aber auch einige Gefahren, da gleichzeitig das LSB die Unbehaglichkeitsschwelle hinsichtlich thermischer Reize zu erhöhen scheint, sodaß v.a. herz- und kreislaufschwache Personen Warnsignale nicht bemerken könnten. Hinzu kommt, daß nach DREXEL (1963) bei dem größeren Atemminutenvolumen im heißen LSB der Umsatz relativ zurückbleibt (s.S. 75). Infolgedessen wird CO_2 in verstärktem Maße abgeraucht, sodaß die Lunge und damit auch das Blut an CO_2 verarmt. Die Reaktionslage verschiebt sich damit in Richtung einer Alkalose, die zusammen mit der Herz- und Kreislaufbelastung die Sturzgefahr v.a. bei geschwächten Personen erhöht. Solche Personen sollten daher heiße LSB nicht ohne Aufsicht und nur nach strengem Zeitreglement nehmen.

4.3 INDIKATIONEN

Wie eingangs erwähnt, werden im Schrifttum eine Reihe therapeutischer Anwendungsbereiche und Indikationen für das Luftsprudelbad genannt. Dabei handelt es sich im wesentlichen um Erfahrungsberichte und z.T. um veraltete Anschauungen (s. Literaturübersicht). Wir können durch diese Untersuchung die eine oder andere Indikation im klinischen Sinne weder widerlegen noch bestätigen. Wir können jedoch aufgrund unserer Feststellungen, daß das Luftsprudelbad im Vergleich zum Süßwasserbad

a) stärkere thermische Wirkung hat,
b) bestimmte vegetative Wirkungen hat,
c) Vibrationen erzeugt und
d) die Konzentration von Badezusätzen in der Einatmungsluft und im Serum erhöht,

daraus folgende therapeutische Überlegungen herleiten:

- Das Luftsprudelbad kann überall dort anstelle des Süßwasserbades bevorzugt eingesetzt werden, wo eine Hyper- bzw. Hypothermie therapeutisch sinnvoll ist (z.B. eine Reihe von Infektionskrankheiten, chronisch degenerativer Erkrankungen einerseits und hypodynamer Krankheitsbilder andererseits;(s. LAMPERT 1954 u. "Handbuch für physikalische Therapie" (1968).

Hinsichtlich der thermischen Wirkung ist das Luftsprudelbad dem Süswasserbad überlegen, da es diese wesentlich schneller und subjektiv angenehmer erzeugt. Darüberhinaus ist zu erwarten, daß sich die übrigen Eigenschaften des Luftsprudelbades zusätzlich günstig auf

die genannten Erkrankungen auswirken.

- Das Luftsprudelbad läßt sich mit einiger Sicherheit überall dort günstig einsetzen, wo eine Beeinflussung des Vegetativums über ein Bad erwünscht ist (Schlafstörungen, vegetative Dystonie, Kreislaufschwäche, Rekonvaleszenz etc.). Hierfür dürften sich v.a. die indifferenten bis kühlen Luftsprudelbäder eignen.
- Das Luftsprudelbad läßt sich - über die Wirkung eines Bades hinausgehend - da einsetzen, wo eine leichte Vibrationsmassage erwünscht ist (Detonisierung der Muskulatur, Entmüdung nach Sport, Hartspann, Lumbalgien etc.).
- Auf Schwellungszustände könnten die milden Vibrationen eine günstige Wirkung im Sinne einer Lymphdrainage entfalten, insbesondere, da sie sich mit kalten Teilanwendungen kombinieren lassen. (s. RUSDEA 1976). Einschränkend ist dazu zu sagen, daß die Wirkungen von Massagen und Vibrationsmassagen auf empirischen Erfahrungen beruhen und wissenschaftlich weitgehend unerforscht sind.
- Das Luftsprudelbad läßt sich bei Zusatz ätherischer Öle als "Inhalationsbad" (KELLER 1936) verwenden. (Ähnlicher Indikationsbereich wie bei Inhalationen: Bronchitiden, Asthma, Infektionen der oberen Luftwege).

4.4 GEGENANZEIGEN, GEFAHREN

Für 36°C warme und kühlere Luftsprudelbäder gelten die gleichen Kontraindikationen wie für Süßwasserbäder.

Für heiße Bäder (39-41°C):
Es besteht die Gefahr einer unbemerkten Überwärmung mit allen sich daraus ergebenden Konsequenzen: Herz-Kreislaufüberlastung, Kollapsneigung, Hyperventilations-Alkalose, erhöhte Sturzgefahr bei alten und gesundheitlich geschwächten Menschen.

Besonders für diesen Personenkreis sollten folgende Maßnahmen beachtet werden:
a) Luftsprudelbad nicht heißer als 40°C,
b) Luftsprudelbad nicht länger als 15 Minuten,
c) Hilfe durch Zweitpersonen beim Aussteigen
d) 30-minütige Nachruhe
Bei kontrollierter Anwendung im Sinne der Hyperthermie sollte über ein Fieberthermometer laufend die Oraltemperatur bestimmt werden.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Zehn junge , gesunde Versuchspersonen wurden in zufälliger Reihenfolge normale Süßwasser-Vollbäder (SWB) (22 Min.) bzw. gleichtemperierte Luftsprudelbäder (LSB) mittels eines im Handel befindlichen Gerätes verabfolgt. Untersucht wurde in drei typischen Temperaturbereichen: indifferent (36°C), heiß (40°C) und kühl (32°C). Untersucht werden sollte, ob und in welchem Maße die Luftbesprudelung einen zusätzlichen Einfluß ausübt auf Körpertemperatur, Kreislauf, Herz- und Atemfunktion, Plasmacortisol und weitere physiologische Parameter

Zwischen dem SWB und LSB konnten einige deutliche Unterschiede in ihrer Auswirkung auf den menschlichen Organismus gefunden werden. Danach läßt sich die Wirkung des LSB in zwei Anteile aufgliedern:

a) erzwungene Konvektion: hierdurch wird der Wärmeaustausch zwischen Bademedium und Organismus wesentlich beschleunigt. Dies äußert sich in beschleunigten Änderungen der Rektaltemperatur;

heißes LSB : + 0,5°C (der Unterschied ist hochsignifikant)

"indifferentes" LSB: + 0,2°C (der Unterschied ist signifikant)

kühles LSB: - 0,1°C (der Unterschied ist signifikant)

und in der Aufheizzeit des Körperkerns im 40°-Bad:

bis 38°C: Zeitbedarf um 10 min. (= 39%) reduziert

bis 39°C: Zeitbedarf um 10 min. (= 27%) reduziert.

Es wird deshalb auch von einer "thermischen Wirkung" des LSB gesprochen.

Diese äußert sich im LSB in folgenden Änderungen physiologischer Meßwerte gegenüber dem SWB:

1. signifikante mittlere Durchblutungssteigerung der unteren Extremität im heißen LSB auf + 1,9 ml 100 ml x min.
2. signifikante mittlere Pulsbeschleunigung im heißen LSB auf +5 Schläge/min.
3. signifikante Zunahme der Blutdruckamplitude bis +8 mm Hg im heißen LSB ($P_{syst.}$ erhöht, $P_{diast.}$ erniedrigt)
4. signifikante Zunahme des Amplitudenfrequenzproduktes bis + 20% im heißen LSB
5. signifikante mittlere Erhöhung des Atemminutenvolumens auf + 1,45 l/min. im heißen LSB und signifikante mittlere Erhöhung des Atemminutenvolumens auf + 2,93 l/min im kühlen LSB.
6. Anstieg des Plasmacortisols um + 2,7 bis + 10,4 µg/100 ml nach den heißen LSB (gegenüber - 1,3 bis + 2,4 µg/100 ml nach den heißen SWB) und Anstieg des Plasmacortisols um + 5,2 bis + 10,1 µg/100 ml nach den kühlen SWB und LSB (Änderung jeweils gegen Ausgangswert vor dem Bad).

b) mechanischer Wirkungsanteil: Dieser läßt sich nochmals in zwei Komponenten unterteilen:
Vibration: diese entsteht zwangsläufig infolge von Druckschwankungen durch austretende Luftblasen an der

Badematte und durch zerplatzende Luftblasen an der Wasseroberfläche bei hohem Luftdurchsatz. Messungen mit einer intrarektalen Drucksonde weisen Druckschwankungen im Körperinneren mit einer Amplitude von ca. 5cm H_2O und einem Frequenzmaximum zwischen 5 und 20 Hz nach. Diese Vibrationen könnten die Mechanorezeptoren in der Haut und in den Muskelschichten erregen.

Taktile Reizung: Sie entsteht durch Vorbeistreichen der Luftblasen an der Haut und den Körperhaaren, wodurch deren Tastsinne erregt werden. (Nach physikalischen Überlegungen dürften aufsteigende Luftblasen keine nennenswerten Druckschwankungen ausüben).

Folgende Veränderungen physiologischer Meßwerte im LSB gegenüber dem SWB werden als mechanisch ausgelöste Wirkung diskutiert, da eine thermische Wirkung allein nicht ausreicht bzw. ausscheidet:

1. signifikante mittlere Senkung der Pulsbeschleunigung um -2 Schläge/min. im indifferenten LSB.
2. signifikante mittlere Senkung der Atemfrequenz im indifferenten LSB um -1,06/min. und im kühlen LSB um -0,95/min. (nicht signifikant), trotz erhöhtem Atemminutenvolumen .
3. signifikante bis hochsignifikante (32°-LSB) mittlere Zunahme des Atemzugvolumens im heißen LSB um +0,10 l, im indifferenten LSB um + 0,08 l und im kühlen LSB um +0,35 l.

4. deutlicher spontaner Pulsabfall um mehr als -3 Schläge/min. ($p<0,1$) nach dem kühlen LSB (bei nahezu identischen Pulskurven i n den Bädern, was als Hemmung einer thermisch bedingten Pulssenkung w ä h r e n d der Besprudelung interpretiert wird).
5. Teilweise signifikante Anhebung des systolischen und diastolischen Blutdrucks 15 Min. n a c h den kühlen LSB um + 5 bis + 8 mm Hg (beim Schellong-Test), während v.a. der systolische Blutdruck i m LSB bis etwa -7 mm Hg signifikant gesenkt wird. Dies wird als Hemmung einer thermoregulatorisch bedingten Vasokonstriktion i m LSB interpretiert, da im LSB eine signifikante mittlere Mehrdurchblutung der unteren Extremität um + 0,7 ml/100 ml x min. stattfindet.

Die Punkte 4 und 5 bestätigen eine übereinstimmende Wahrnehmung aller Probanden: daß nämlich das heiße LSB subjektiv als weniger heiß und das kühle LSB als weniger kühl als das gleichtemperierte SWB empfunden wird (Herabsetzung der subjektiven Temperaturempfindung).

Die Senkung der Pulsfrequenz und der Atemfrequenz, sowie die vertiefte Atmung im LSB sprechen zusammen für eine vagotone, beruhigende Wirkung aufgrund mechanisch bedingter Einflüsse.

Für das Zustandekommen folgender Veränderungen im LSB gegenüber dem SWB werden beide Faktoren diskutiert:

1. Die thermisch bestimmte Pulsbeschleunigung im heißen LSB wird um eine mechanisch bedingte Pulssenkung reduziert.
2. Für den starken spontanen und signifikanten Anstieg des mittleren Atemminutenvolumens im heißen, v.a. im indifferenten (um +0,9 l/min.) und kühlen LSB reicht eine ausschließlich thermische Wirkung nicht aus. Die Meßergebnisse sprechen für einen zusätzlichen, mechanischen Anreiz, der sich zu der thermischen Wirkung addiert.
3. Die Mehrdurchblutung der unteren Extremität im kühlen LSB (s.o.) kann auch durch eine Stoffwechselsteigerung infolge unmerklichen Muskelzitterns bedingt sein, als Reaktion auf den thermischen Reiz.

Folgende Meßwerte verhalten sich im LSB und SWB gleichartig: Pulsfrequenz im kühlen Bad, Durchblutung im indifferenten Bad, Blutdruck und Blutdruckamplitude im indifferenten Bad, Amplitudenfrequenzprodukt im indifferenten und ab der 8. Bademinute im kühlen Bad, Plasmacortisol im kühlen (Anstieg) und indifferenten Bad (Senkung), die übrigen hämatologischen Parameter wie Natrium, Kalium, Gamma-GT, GOT, Triglyceride, Cholesterin, Harnstoff, Harnsäure und Kreatinin.

Die Konzentration einiger ätherischer Öle, z.B. α-Pinen (Sp. 160° - 180°C) ist in der Atemluft über dem LSB 30 bis 50 mal so hoch wie über dem SWB,und im Blutserum nach dem LSB etwa 10 mal so hoch wie nach dem SWB.

6. LITERATUR

1.) AMELUNG, W. u. A. EVERS — Handbuch der Bäder und Klimakunde, Schattauer Verlag, Stuttgart 1962

2.) BALAZ, V. u. Mitarb. — Arch. phys. Ther. 17, 323 (1965)

3.) BARCROFT, H. K.D.BOCK, H. HENSEL u. A.H. KITCHIN — "Die Muskeldurchblutung des Menschen bei indirekter Erwärmung und Abkühlung." Pflügers Archiv für ges. Physiologie, Band 261, Heft 3 (1955)

4.) BARTH G. — Gutachten Erlangen 11.8.1959

5.) DIRNAGL, K. u. DREXEL, H. — "Zur Wärmewirkung verschiedener Bäderarten." Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 8, 592, (1961)

6.) DREXEL, H.
- "Über den Wärmeaustausch im Bad und die Regelung der Körpertemperatur." Habilitationsschrift, München (1963)
- in GROBER, G. Lehrbuch der physikalischen Therapie, 5. Auflage (1970)

7.) FÄHNDRICH, W.H. Medizinische 654, (1953)

8.) FELLINGER, K. Dtsch. med. J. 5, 603 (1954)

9.) GÜNTHER, R.
M. HEROLD
D. EGG "Plasma cortisol vor, während und nach Hyperthermie durch Überwärmungsbäder."
z. phys. Med. 5, 224 (1978)

10.) GOLENHOFEN K. " Physiologie des menschlichen Muskelkreislaufes"
Marburg, Sitzungsber. 83/84, 167 (1962)

11.) HAUS E. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk 4, 486 u. 593 (1957)

12.) HAFERKAMP H. Das Luftsprudelmassagegerät
Med. lit. Verlagsges. mbH,
2. Aufl. Velzen 1973

13.) HECKMANN CHR.,
P. RÜLLMANN u.
M. SCHIPKOWSKI "Tagesrhythmische Unterschiede der Immediatwirkung von Luftsprudel-Massagebädern"
Z.f.Phys. Med. 1/80 S. 98

14.) HEILAND J. "Untersuchung über die Wirkungen von Luftsprudelmassagebädern auf integrale Hauttemperatur, Blutdruck- und Pulsverhalten unter Berücksichtigung des

Lebensalters"
Med. Diss., Hamburg 1978

15.) HENTSCHEL, H. D. - Vergleichende Untersuchungen zur kurörtlichen Therapie von Blutdruckstörungen.
Arch. Phys. Ther.(Lpz.) 13, 85 (1961)
- Vergleichende Untersuchungen zur Behandlung mit Kohlensäurebädern.
Arch. phys. Ther. (Lpz.) 14, 325 (1962)
- "Über die Hautrötung im Kohlensäurebad". Habilitationsschrift Gießen 1966

16.) HOFFMANN, H. J. u. S. KAMM — Arch. phys. Ther. 12, 521 (1960)

17.) HORNBACHER, W. — Die unterschiedliche Reaktion von Atmung und Kreislauf bei 26 verschiedenen physikalisch-therapeutischen Anwendungen. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk.
14, 109 (1967)

18.) JÄNIG, W. — central organisation of somatosympathetik reflexes in vasoconstriktor neurones Brain Res. 87, 305 (1975)

19.) JANKOWIAK, J. Fysiatr. Vest. 5, 182 (1955)

20.) JUNGMANN, H. - Über den Einfluß kalter, heißer und wechselwarmer Teilanwendungen auf den Kreislauf. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 11, 138, (1964)

- Einfluß des Lebensalters auf die Wirkung balneologischer Maßnahmen. Vergleichende Untersuchungen in indifferenten und kalten Voll u. Teilbädern. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 16, 163 (1969)

21.) KAISER, Th. Kneippsche Hydrotherapie. Bad Wörrishofen 1968

22.) KELLER Münch. med. Wschr. 50, 1936

23.) KÖHL, F. K. DIRNAGL u. H. DREXEL Kreislaufanalysen in der Anfangsphase des Bades, Arch. Phys. Ther. 18, 399, (1966)

24.) KOHLRAUSCH, W. Handbuch d. Phys. Ther. Bd. 2/1, S. 224 Stuttgart, 1971

25.) KRÖLING P. u. E. WENGNER — "Hormonelle Reaktion auf 20-Min.-Bäder bei 28°, 36° und 40°C." Vortrag 81. Kongreß Phys. Med., Hannover 14.10.1979, Z. Phys. Med. 1/80

26.) KÜBEL, H. — Brief, Erlangen, 27.12.1975

27.) KÜHNAU, J. — Chemische Wirkung der Badekur. In: AMELUNG, W. u. A. Evers, Handbuch der Bäder- und Klimaheilk. 218. Schattauer, Stuttgart 1962

28.) LAMPERT, H. — - Arch. phys. Ther. 6, 235 (1954)
- Arzt u. Pat. 9, (1949)
- Med. Welt 2721, (1965)

29.) MELZACK R. u. WALL P.D. — Science 150, 971 (1965)

30.) MILCU ST.M. et al. — "Die Herausstellung der Nebennieren-Reaktion in der Physiotherapie durch die chromatographische Fraktionierung der 17-Ketosteroide im Harn." Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 14, 62 (1967)

31.) OTT, M. — Dissertation, Zürich 1950

32.) De PAP, L. Zur Frage der Stimulierung der Nebennierenrinde bei Bäderbehandlung. Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 2, 106 (1955)/3, 568 (1956)

33.) PARADE Ther. Gegenw. 161 (1953)

34.) PEKARINEN, A. u. O. KINUNEN Acta endocrinol. 7, 282 (1951)

35.) PIRLET, K.
- Menschlicher Wärmehaushalt und kaltes Seebad unter besonderer Berücksichtigung individueller Unterschiede. Arch. phys. Ther. 12, 165 (1960)
- Experimentelle Studien des menschli- Wärmehaushalts beim kalten Seebad. Arch. Phys. Ther. 21, 41, (1969)
- Kaltes Seebad und menschlicher Wärmehaushalt. Arch. phys. Ther. 22, 302, (1970)

36.) RICHARDS, J. B. u. R. H. EGDAHL Amer. J. Physiol. 186, 453 (1956)

37.) RÖMMELT, H. Über die Wirkung von Badezusätzen in Luftsprudel- und Süßwasserbädern. Veröffentlichung in Vorbereitung; Baln. Institut, München

38.) ROSAK C., M. BÜHRING, H. BUSCH u. W. MAGNET — "Untersuchungen der Hypophysen-NNR-Achse bei Hyperthermie." Z. Phys. Med. 1/80 S. 67

39.) RUSDEA — Brief, Stenum, 16.7.1976 (Fachklinik für Orthopädie)

40.) SACHS, L. — Statistische Auswertungsmethoden, S. 210, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York (1972)

41.) SAITO, ASADA, K. M. u. T. IMAMURA — J.Japan. Baln. u. Climatol. Ass. 20, 103 (1956); ref. in: Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 4, 577 (1957)

42.) SALVINI, M. u. R. BONINO — Boll. Soc. ital. biol. sper. 26, 694 (1950)

43.) SAN ROMAN, Y. u. J. ROYER — Untersuchung über die Wirkung der Hydrotherapie und Balneotherapie mit radioaktiven Wässern auf das System Hypophyse - Nebennierenrinde Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 2, 112 (1955)

44.) SAYERS, G. — Physiol. Rev. 30, 244 (1950)

45.) SELYE, H. The physiology and pathology of exposure to stress.
- Acta med. Montreal (1950)
- Dtsch. med. Wschr. 1001 (1951)
- Münch. med. Wschr. 426 (1953)

46.) SCHARNER, W. u. H. SPITZBART Herzfrequenz- und Körpertemperaturuntersuchungen bei hydrotherapeutischer Behandlung gynäkologischer Erkrankungen. Arch. phys. Ther. 23, 185 (1972)

47.) SCHWARZ, F. K. Th.
- Fachärztliches Gutachten, Mannheim, 21.9.1960
- Der therapeutische Wert von Luftsprudelbädern. Hypokrates Heft 14, 564 (1961)

48.) SCHMIDT, J. Brief, Münster, 9.1.1976 (Institut f. Sportmedizin)

49.) SCHOBERTH, H. Beurteilung des Thermafontegerätes Damp, 12.11.1975

50.) SENATOR, H. u. K. FRANKENHÄUSER Zur Kenntnis der Wirkung von und anderen gashaltigen Bädern. Therap. Gegenw. 45, 16, (1904)

51.) SENATOR, H. u. H. SCHNÜTGEN — Über Luftperlbäder, Dtsch. med. Wschr., 35, 1506, (1909)

52.) SHIBATA, T. — Journ. Japan. Balneo- Climat. Assoc. 24, 178 (1960)

53.) STIEVE v.F.E. — "Wirkung und Indikation der Aero-therm-Bäder." Ärztliche Praxis 4/50 (1952)

54.) STRASBURGER, J. — Einführung in die Hydro- und Thermotherapie. Jena 1909

55.) THORN, G. W. u. MITARB. — J. Amer. Med. Ass. 137, 1005 (1948)

56.) VIVARIO, R. u. MITARB. — Res. med. Liege 7. 83 (1952)

57.) WADYNSKI — Beurteilung, Telgte, 16.1.1976

58.) WENZEL, E. — Arch. phys. Ther. 2, 32 (1950) Z. ges. inn. Med. 486 (1952)

59.) WETZLER, K. u. R. THAUER — Z. ges. exp. Med. 112, 95 (1943) 112, 345 (1943)

60.) WIEDEMANN, E. - Zur Frage des Nachweises der Nebennierenaktivität unter hydrotherapeutischen Maßnahmen.
Arch. phys. Ther. 9, 344 (1957)
- Habilitationsschrift, Frankfurt a. M. 1958
- Arch. phys. Ther. 11, 40 (1959)
Z. angew. Bäder- u. Klimaheilk. 6, 261 (1959)

61.) ZIMMERMANN, M. Mechanoreception und Nocireception. Vortrag auf dem 81. Kongreß der Gesellschaft für Physikal. Med., Marburg 12.10.1976

Abschließend möchte ich Herrn Prof. Dr. H. Drexel herzlich danken für die vielen Anregungen zum Thema. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. P. Kröling, der mir bei der Durchführung und Auswertung der Versuche stets mit wertvollen Ratschlägen zur Seite stand. Mein Dank gilt auch Herrn K. Dirnagl, dessen Sachverstand und technische Anweisungen für das Gelingen der Untersuchung unerläßlich waren. Herrn H. Römmelt verdanke ich die Ergebnisse der Versuche mit Badezusätzen. Zuletzt möchte ich noch Herrn Prof. Dr. W. Vogt danken für die bereitwillige Unterstützung bei den klin. chem. Untersuchungen.

7. LEBENSLAUF

Am 28.2.1946 wurde ich als Sohn des Steuerinspektors Georg Heil und dessen Frau Maria, geb. Lenninger in Regensburg geboren. Von 1952 bis 1957 besuchte ich die Volksschule und von 1957 bis 1967 das Albrecht-Altdorfergymnasium in Regensburg. Ab 1967 studierte ich Pädagogik in Regensburg und München und wechselte 1971 zum Studienfach Humanmedizin an der Universität München, welches ich 1978 mit dem Staatsexamen abschloß. Nach einem Jahr Tätigkeit als Medizinalassistent am Krankenhaus München-Schwabing und am Kreiskrankenhaus Cham erhielt ich 1979 meine Approbation.